

# Konservering av to jomfruer fra Norsk Maritimt Museum

Med fokus på behandling av en kompositt  
gjenstand

Mai-Britt Andersen



Masteroppgave i gjenstandskonservering  
Institutt for arkeologi, konservering og historie  
UNIVERSITETET I OSLO  
Høst 2011



## Sammendrag

Utgangspunktet for denne masteroppgaven var to jomfruer med tau tilhørende Norsk Maritimt Museum. Jomfruene er en vanntrukket arkeologisk gjenstand, og de ble funnet i forbindelse med Barcodeutgravingen av båt 2 (BC02) i Bjørvika i 2008/2009. Den omkringliggende kompakte leiren har bevart jomfruene og tauet godt, siden det førte til lite luft og mye fuktighet. Jomfruer ble benyttet på seilskip for stramming av vantene og bardunene, og virkemåten var i prinsippet som blokker. Når seilet presses av vinden blir vantene utsatt for sterkt strekk, og jomfruens funksjon var å stramme vantene. Jomfruer tilhørte dermed den faste riggen på seilskip. Målet var å konservere jomfruene som helhet for utstilling slik at de ble stabile og estetisk tilfredsstillende. Nedre jomfruens hulkile var dekket av korrosjon, og litteratur om tilvirkning av jomfruer indikerte at det trolig var jernbeslag rundt. Før noen form for behandling ble påbegynt ble derfor røntgen, XRF og SEM-EDS benyttet for å bekrefte eller avkrefte om det var jern i hulkilen. Analysene og rensing avdekket at det var jernbeslag under korrosjonen, og jomfruene kan karakteriseres som en kompositt gjenstand. Det ble besluttet å beholde jernet, og utfordringen var å finne en behandling som stabiliserte de organiske materialene, uten at det skadet metallet. PEG er den vanligste impregneringsmetoden benyttet både på tre og tauverk, men siden PEG er korrosjonsfremmende måtte andre metoder vurderes. Mannitol og sorbitol ble etter kost-nytte analyse vurdert som et alternativt impregneringsmiddel siden det ikke er korrosjonsfremmende. Siden forskning viser at sorbitol fører til mindre krymping enn mannitol på treverk, samt at mannitol er veldig kostbart og studiet hadde ikke mannitol tilgjengelig ble det besluttet å sette i gang et forsøk med ulike konsentrasjoner av sorbitol hvor vanntrukket arkeologisk tre og tau ble testet. 40 % sorbitol ga det mest tilfredsstillende resultatet både på tre og tauverket. Det ble ut ifra resultatet derfor konkludert med at 40 % sorbitol beholder gjenstandens kvaliteter, bortsett fra tauets fleksibilitet. Siden tauet originalt var fleksibelt er det en ønskelig egenskap å oppnå, men når kompositte gjenstander skal behandles må det ofte inngå kompromiss. I dette tilfellet ble det valg å ofre et materiales egenskap fremfor å ofre ett materiale. Det ble derfor besluttet å impregnere jomfruene i 40 % sorbitol etterfulgt av frysetørrking.





## Forord

Jomfruene er en kompositt gjenstand bestående av organiske og uorganiske materialer, og de ulike materialene krever forskjellig behandling. Målet var imidlertid å behandle jomfruene uten å separere materialene, og den forbindelse har det vært interessant å fordype seg i problemstillinger rundt kompositte gjenstander siden temaet sjeldent behandles i litteraturen. I tillegg har det vært svært interessant å få innblikk hvor komplekse skip er, og hvor stor funksjon de små jomfruene faktisk har på et skip. I forbindelse med masteroppgaven er det mange som har bidratt og fortjener takk.

- Inger Marie Egenberg, Førstekonservator ved Norsk Maritimt Museum for lån av jomfruene, forskningsmateriale og ikke minst støtte, inspirasjon og gode råd.
- Susan Braovac, konservator ved Kulturhistorisk Museum for entusiasme, gode samtaler, lån av utstyr, hjelp til å forstå tre som materiale, samt hjelp til FTIR - analyse av tjær og tolkning av spektrene.
- Ingunn Undrum, repslager og Sarah Sjøgreen, repslagerlærling, begge ved Hardanger Fartøyvernssenter for innsikt i håndverket repslagning og bastlegging. Takk for et inspirerende bastleggingskurs på Råseilseminaret ved Norsk Maritimt Museum.
- Kristiane Strætkvern, konservator ved Nasjonalmuseets Bevaringsavdeling i Brede, for gode råd i forbindelse med behandling av jomfruene.
- Karl Ragnar Gjertsen, konservator ved Aust-Agder Kulturhistoriske Senter for interessante samtaler om jomfruer.
- Irene Lindblom ved Vasamuseet for bilder og rapport om Vasas jomfruer.
- Elizabeth Peacock, forsker ved NTNU for tips til relevante artikler.
- Duncan Slarke, overingeniør ved IAKH, UiO for mange timer med hjelp og veiledning i forbindelse med SEM-EDS, XRF analyser og tolkninger.
- Førstelektor Joel Taylor for veiledning, konstruktiv kritikk og praktiske råd.
- Douwtje van der Meulen, Universitetslektor for praktisk hjelp.
- Henrik Torkveen, egyptolog og min gode venn fra studietiden i arkeologi for hjelp til strukturering og innhold av oppgaven.
- Medstudenter for støtte, gode diskusjoner og praktisk hjelp underveis.
- Sist men ikke minst: Venner, familie og Dag Yngve for uvurderlig støtte og oppmuntring gjennom hele masteroppgaven!



# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Problemstilling .....	1
1.2	Målet med konserveringen .....	2
2	Tilnæringsmetoder .....	5
2.1	Kildegrunnlag.....	5
2.2	Kartlegging av jomfruene og dens bestanddeler .....	6
2.2.1	Påvise jern rundt nedre jomfru .....	6
2.2.2	Påvise tjære .....	7
2.2.3	Nedbrytningsprosesser og tilstand .....	8
2.3	Valg av behandling.....	9
3	Jomfruenes funksjon og arkeologisk kontekst .....	10
3.1	Jomfruenes generelle funksjon.....	10
3.2	Arkeologisk kontekst.....	11
3.3	Datering og proveniens .....	12
3.4	Jomfruenes funksjon på BC02 .....	13
4	Konstruksjon og tilvirkning .....	15
4.1	Jomfruene .....	15
4.1.1	En blokkmakers verksted – tilvirkning av jomfruer.....	15
4.1.2	Jomfruenes konstruksjon.....	16
4.2	Tauverket.....	18
4.2.1	Tilvirkning.....	18
4.2.2	Tauets konstruksjon.....	20
4.2.3	Tjære.....	21
5	Originale materialer.....	22
5.1	Cellulosebasert materiale .....	22
5.1.1	Treets oppbygging.....	22
5.1.2	Kjemisk oppbygging av cellulosemateriale .....	22
5.1.3	Cellenes oppbygging.....	24
5.1.4	Treidentifikasjon .....	25
5.1.5	Fiberidentifikasjon .....	26
5.1.6	Identifikasjon av tjære.....	27

5.2	Jern .....	29
5.3	Påvisning av jern .....	30
5.3.1	Røntgen .....	30
5.3.2	Røntgenfluorescens .....	31
5.3.3	Sveip-elektronmikroskop - Energi-dispersiv røntgen spektroskop .....	32
5.4	Avsluttende oppsummering .....	33
6	Tilstand og nedbrytning .....	34
6.1	Generelle nedbrytningsprosesser .....	34
6.2	Tilstandsbeskrivelse .....	36
6.2.1	Påvisning av mugg .....	38
7	Teori – aktuelle konserveringsbehandlinger .....	40
7.1	Rensemeter .....	41
7.2	Forbehandling .....	42
7.2.1	Impregnering og svelling .....	42
7.3	Aktuelle forbehandlingsmetoder .....	44
7.3.1	Alun .....	44
7.3.2	PEG .....	45
7.3.3	Sukkeralkoholer .....	47
7.3.4	Nyere metoder .....	49
7.4	Tørring .....	50
7.5	Diskusjon og kost-nytte analyse .....	53
8	Praktisk forsøk med sorbitol .....	56
8.1	Metode .....	56
8.2	Resultat og diskusjon .....	58
9	Behandling – forslag og praktisk utførelse .....	59
10	Evaluerer av behandling .....	62
11	Oppbevaring og videre forskning .....	64
11.1	Oppbevaring .....	64
11.2	Videre forskning .....	64
12	Litteraturliste .....	65

## **Vedlegg**

Vedlegg 1 – Reglement

Vedlegg 2 – Kapittel 4 Konstruksjon og tilvikning

Vedlegg 3 - Kapittel 5 Originale Materialer

Vedlegg 4 - Kapittel 6 Generelle nedbrytningsprosesser og tilstand

Vedlegg 5 – Rapport fra Mycoteam

Vedlegg 6 – Kaptiel 8 Praktisk forsøk med sorbitol

Vedlegg 7 – Kapittel 9 Behandling – forslag og praktisk utførelse

Vedlegg 8 - Benyttede produkter og tidsforbruk

## **Illustrasjoner og bilder i tekst**

Figur 1. Jomfruene fra Norsk Maritimt Museum før konservering.

Figur 2. Utstillingen ”Föremål i fokus” ved Vasamuseet hvor jomfruer som gjenstand er satt i fokus.

Figur 3. Illustrasjon av jomfruer og terminologi (Kihlberg 1976:84).

Figur 4. Jomfruene *in situ* (Hobberstad 2010:40).

Figur 5. Illustrasjon av jomfruenes utvikling (Mondfeld 2005:244).

Figur 6. Rekonstruksjon av Vaaghals, båt 06, som også ble funnet under samme utgraving.  
Illustrasjon av hvilken funksjon jomfruene kan ha hatt på BC02.

Figur 7. Fremgangsmåte ved tilvirkning av runde jomfruer i dreiebenk (Gjertsen 1980:105).

Figur 8. Jomfruenes fremside.

Figur 9. Jomfruenes bakside.

Figur 10. Jomfruenes venstre side.

Figur 11. Jomfruenes høyre side.

Figur 12. Illustrasjon av treslått trosse (Kihlberg 1976:140).

Figur 13. Z - og S - slått tau (Kihlberg 1976:140).

Figur 14. Taukveil.

Figur 15. Detalj av taukveil. Z-slått tau.

Figur 16. Strukturformel for cellulose (Thomassen 1997).

Figur 17. Illustrasjon av lagene i celleveggen (Thomassen 1997).

Figur 18. Skader på fremsiden.

Figur 19. Illustrasjon av skader.

Figur 20. Tauene på baksiden hadde revnet.

Figur 21. Jern avdekket under rensing, og et jernfragment falt av.

Figur 22. Definisjon av anti-krympe effektivitet (ASE).

Figur 23. Illustrasjon av hvordan fuktigheten fordeler seg i en celle fra mett til tørr tilstand (Kucera og Næss 1999:223).

Figur 24. Definisjon av kriteriene som er lagt til grunn i kost-nytte analysen.

Figur 25. Korrosjonen ferdig renset.

Figur 26. Taukveilen ferdig renset.

Figur 27. Jomfruenes fremside ferdig renset.

Figur 28. Jomfruenes bakside ferdig renset.

### **Illustrasjoner og bilder i vedlegg**

Figur 29. Vertikal fiberretning – øvre jomfru.

Figur 30. Detalj av hull - øvre jomfru.

Figur 31. Detalj av rett hake – øvre jomfru.

Figur 32. Detalj av taljerepsknopen – øvre jomfru bakside.

Figur 33. Baststrimler.

Figur 34. Baststrimlene tvinnes til en kordel.

Figur 35. Detalj av kordel.

Figur 36. To kordeler tvinnes sammen.

Figur 37. Tredje kordelen tvinnes mellom, og resultatet er et treslått Z-tau.

Figur 38. Detalj av tauet øvre jomfru – venstre side.

Figur 39. Detalj av Z-slått tauet rundt øvre jomfru - høyre side.

Figur 40. Prøveuttak for treidentifikasjon. Tverrsnitt fra den rette haken.

Figur 41. Referanse: Eik, 100 x forstørrelse.

Figur 42. Referanse: Ask, 100 x forstørrelse.

Figur 43. Tverrsnitt av øvre jomfru, 100 x forstørrelse.

Figur 44. Prøveuttak.

Figur 45. Område for fiberuttak på taukveil.

Figur 46. Prøveuttak.

Figur 47. Område for XRF målinger av korrosjon – grønne piler.

Figur 48. Område for XRF måling av avdekket metall – grønne piler.

Figur 49. Røntgenbilde av jomfruen. 65 kV, 5 mA, 1 minutt.

Figur 50. Røntgenbilde av jomfruen. 45 kV, 5 mA, 1 minutt.

Figur 51. Røntgenbilde av leiren. 80 kV, 5 mA, 1 minutt.

Figur 52. SEM-EDS av prøve 1.

Figur 53. SEM-EDS av prøve 2.

Figur 54. SEM-EDS av prøve 3.

Figur 55. SEM-EDS av prøve 4.

Figur 56. SEM-EDS av kontrollprøve.

Figur 57. Jomfruene før konserveringsbehandling.

Figur 58. Korrosjon i hulkilen.

Figur 59. Gul korrosjon i hulkilen.

Figur 60. Korrosjon har impregnert tauet mellom jomfruene.

Figur 61. Kordelene har løsnet fra hverandre og tauet ligger løst i hulkilen.

Figur 62. Tauprøvene før behandling.

Figur 63. Tauprøvene etter behandling.

Figur 64. Prøve 1 før behandling med 10 % sorbitol.

Figur 65. Prøve 2 før behandling med 20 % sorbitol.

Figur 66. Prøve 3 før behandling med 30 % sorbitol.

Figur 67. Prøve 4 før behandling med 40 % sorbitol.

Figur 68. Prøve 5 før behandling med 20 % PEG 400.

Figur 69. Prøve 6 før behandling med 30 % PEG 400.

Figur 70. Prøve 1 etter behandling med 10 % sorbitol.

Figur 71. Prøve 2 etter behandling med 20 % sorbitol.

Figur 72. Prøve 3 etter behandling med 30 % sorbitol.

Figur 73. Prøve 4 etter behandling med 40 % sorbitol.

Figur 74. Prøve 5 etter behandling med 20 % PEG 400.

Figur 75. Prøve 6 etter behandling med 30 % PEG 400.

Figur 76. Renseprosessen av jomfruene.

Figur 77. Rensing av korrosjon.

Figur 78. Detalj av hake etter at korrosjon er fjernet.

Figur 79. Perforert plast sveiset rundt jomfruene.

Figur 80. Perforert plast sveiset rundt taukveilen.

Figur 81. Støtte til tauverket i hulkile - før frysetørking.

Figur 82. Detalj av støtte til tauverket i hulkilen.

## **Tabeller**

Tabell 1. Mål av jomfruene.

Tabell 2. Karakteristiske bølgetall for tretjære (Font m. fl. 2007:126).

Tabell 3. Kost-nytte analyse.

Tabell 4. Oversikt over prøvematerialet og konsentrasjoner.

Tabell 5. Mikroskopbilder av referansefiber og fiber fra jomfruene.

Tabell 6. Farge før og etter behandling.

Tabell 7. Mål og vekt av tauprøvene før og etter behandling.

Tabell 8. Mål og vekt av treprøvene før og etter behandling.

## **Grafer**

Graf 1. FTIR av tyritjære, lindebast og fiberprøver fra tauverket.

Graf 2. Samlet XRF resultat av korrosjonen.

Graf 3. Samlet XRF resultat av det avdekkede metallet.

Graf 4. Brytningsindeks sorbitol løsning.

Graf 5. Brytningsindeks PEG 400 løsning.







# 1 Innledning

Utgangspunktet for masteroppgaven er to jomfruer med tau tilhørende Norsk Maritimt Museum (figur 1). De ble funnet i forbindelse med utgravingen av båt 2 (BC02) i Bjørvika. Jomfruene er en vanntrukket arkeologisk gjenstand bestående av treverk og taufiber. Det går en hulkile rundt hver av jomfruene, hvor det i den ene ligger et tau, mens den andre er dekket av korrosjon. Jomfruene er derfor en kompositt gjenstand, trolig bestående av både organisk og uorganisk materiale. Jomfruer tilhørte den faste riggen på skip, og ble benyttet til stramming av vant og barduner. Nærmere beskrivelse av jomfruenes funksjon og konstruksjon presenteres henholdsvis i kapittel 3 og 4. Jomfruene har blitt oppbevart på kjølemagasin hos Norsk Maritimt Museum hvor de har blitt fuktet jevnlig med vann (Egenberg 2011:pers.komm.). Ved ankomst til konserveringslaboratoriet var jomfruene derfor i fuktig tilstand fremfor vanntrukket.



Figur 1. Jomfruene fra Norsk Maritimt Museum før konservering.

## 1.1 Problemstilling

Kompositte gjenstander består av to eller flere ulike materialer, og ofte krever materialene forskjellig konserveringsbehandling. I noen tilfeller kan de ulike materialene gjenstanden består av tas fra hverandre og behandles separat. De oppstår imidlertid to problemer ved separering av materialene. Vanntrukne gjenstander er ofte strukturelt sammensatte, og uansett

hvor forsiktig materialene tas fra hverandre er det en stor risiko for at det ene materialet ødelegges. I tillegg blir materialene utsatt for ulike behandlinger som endrer materialet strukturelt noe som kan føre til at det er vanskelig å montere gjenstanden sammen igjen (Smith 2003:74). Det er dermed ofte umulig å ta materialene fra hverandre eller det vil ødelegge informasjon, og de ulike materialene må behandles som en enhet. Det må derfor tas en beslutning hvorvidt det skal inngås et kompromiss mellom materialene eller om et materiale skal prioriteres fremfor det andre (Cronyn 2004:93-94).

Norsk Maritimt Museum ønsker at jomfruene skal konserveres som en helhet uten at tauet og treverket separeres (Egenberg 2011:pers. komm.). Det er imidlertid knyttet utfordringer rundt å rense jomfruene med forsiktighet samtidig som de holdes våte. I tillegg er det en risiko forbundet med å snu jomfruene grunnet at tauet som forbinder dem kan ryke. Korrosjonen rundt hulkilen, samt litteratur om tilvirkning av jomfruer indikerer at det er jern tilstede noe som vil vanskeliggjøre stabiliseringen. PEG (polyetylenglykol) er kanskje den vanligste stabiliseringsmetoden benyttet både på tre og tau. Dersom det er jern tilstede, og det er en del av jomfruene, vil det påvirke valg av stabiliseringsmetode siden PEG er korrosjonsfremmende.

Det finnes mye forskning på vanntrukket tre, men vanntrukket tau er derimot underrepresentert innenfor konserveringslitteraturen. I tillegg er de ulike materialene ofte behandlet separat i litteraturen og kompositte gjenstander nevnes sjeldent, eksempelvis har International Council of Museums (ICOM-CC) delt inn de ulike materialgruppene i arbeidsgrupper.

Problemstillingen blir derfor:

- Hvordan konservere en kompositt gjenstand når det ikke er ønskelig å separere tauet og treverket, samtidig som det tas hensyn til at det er jern tilstede?

## **1.2 Målet med konserveringen**

Riggen på et skip er kompleks, og kan ved første øyekast se ut som et sammensurium av tauverk, blokker og taljer. Ved nærmere ettersyn observeres alle de små detaljene som samvirker med hverandre og skaper helheten. En av alle disse riggdetaljene er som nevnt jomfruer. Eksempelvis i og rundt Vasaskipet ble det funnet 125 jomfruer (Lindblom 2007:1-4), og Vasamuseet har rettet oppmerksomhet mot jomfruer som gjenstand med utstillingen

”Föremål i fokus” (figur 2). Jomfruene fra Norsk Maritimt Museum er viktig å bevare siden de kan være med å belyse hvordan BC02 så ut, og jomfruer hadde en viktig funksjon på skip, siden de var med å holde masten på plass under seiling. I tillegg illustrerer jomfruene en sjømannskultur. På engelsk kalles jomfruer *deadeyes*, trolig på grunn av det dødslignende utseende (Lindblom 2007:1). Karl Ragnar Gjertsen og Svein Molaug diskuterte under utarbeidelsen av artikkelen ”Fra en blokkmakers verksted” hvorfor de på norsk kalles jomfruer. I følge dem kan det med bakgrunn i sjømannskulturen og den liketil humoren i mannfolkmiljøer rett og slett være på grunn av en enkel folkelig assosiasjon som at jomfruer var så trange når tauet skulle træs gjennom hullet (Gjertsen 2011:pers. komm.).



Figur 2. Utstillingen ”Föremål i fokus” ved Vasamuseet hvor jomfruer som gjenstand er satt i fokus.

Jomfruene er dermed både et historisk dokument og en estetisk enhet. Som et historisk dokument er det viktig å dokumentere jomfruenes form, funksjon, konstruksjon, materialer og nedbrytningsprosesser. Hva som er estetisk er subjektivt, men i tilfellet med arkeologiske gjenstander vil det si jomfruenes sanne natur. Enhver gjenstand er en estetisk enhet som gir en estetisk opplevelse (Caple 2004:29-30). Det er viktig å balansere undersøkelsene av jomfruene som et historisk dokument og jomfruenes estetiske karakter gjennom rensing. Den ene hulkilen er dekket av korrosjon, og korrosjon ansees ofte som lite estetisk. Korrosjonen er imidlertid en del av gjenstanden som et historisk dokument. Målet er derfor å konservere jomfruene for utstilling slik at de blir stabile og estetisk tilfredsstillende.

Konserveringsbehandlingen er en tredelt prosess hvor gjenstanden avdekkes, undersøkes og stabiliseres (Caple 2004:33). ICOM museumsetiske regelverk sier at hovedmålet med konserveringsbehandlingen er å stabilisere gjenstanden, og alle konserveringstiltak skal så langt som mulig være reversible. Med reversibilitet menes at all behandling skal kunne reverseres og gjenstanden kan returneres til sitt originale utseende, samt kjemiske og fysiske tilstand før behandling (Smith 1999:99). Siden alle handlinger er irreversible, er kanskje minimum inngripen et viktigere begrep. Enhver behandling vil endre gjenstanden og forstyrre eventuelle analyser i fremtiden (Charola og Koestler 2006:26). Selv om minimum inngrep er

et mål i seg selv, er det ofte en umulighet med vanntrukne arkeologiske gjenstander siden de må stabiliseres.

Oppgaven starter med kapitel 2 hvor tilnærmingsmetoder og kildegrunnlag vil redegjøre for hvordan problemstillingen skal besvares. Deretter beskriver kapitel 3 jomfruenes funksjon og den arkeologisk konteksten, før det i kapitel 4 redegjøres for jomfruenes tilvirkning og konstruksjon. Originale materialer identifiseres og presenteres i kapitel 5, og generelle nedbrytningsprosesser og jomfruenes tilstand beskrives i kapitel 6. På grunnlag av de foregående kapitlene vil deretter aktuelle behandlingsmetoder diskuteres i kapitel 7. Forsøket med sorbitol beskrives i kapitel 8, og selve konserveringsbehandlingen av jomfruene redegjøres for i kapitel 9. Deretter følger et kapitel hvor behandlingen evalueres før oppgaven avsluttes med anbefalinger til videre oppbevaring og forslag til videre forskning.

## 2 Tilnærmingemetoder

Problemstillingen handler om hvordan jomfruene kan konserveres når det ikke er ønskelig å separere tauet og treverket, samtidig som det tas hensyn til at det er jern tilstede. Det er fullt mulig å ta tauet og treverket fra hverandre, noe som også gjør det enklere å stabilisere de to ulike materialene. Tre og tau ligner hverandre kjemisk så det vil sannsynligvis ikke være kjemisk motsetningsforhold. Tauet er imidlertid skjørere og mer nedbrutt enn treverket så det er trolig et mekanisk motsetningsforhold. Overliggende jordlag i det arkeologiske miljøet, samt leire og korrosjon som har impregnert tauet gjør at tauet sitter fast på og rundt jomfruene. Tatt de to faktorene i betraktning er det en mulighet for at tauet blir ødelagt i separeringsprosessen. I tillegg ligger tauet *in situ*. Det vil si, at tauet ligger nå slik det lå da skipet ble deponert en gang på slutten av 1500-tallet eller begynnelsen av 1600-tallet. Det vil være vanskelig å sette treverket og tauet sammen akkurat slik det var i utgangspunktet. Korrosjonen rundt hulkilen, samt litteratur om tilvikning av jomfruer indikerer at det kan være jern tilstede. Dersom analyser og undersøkelser viser at det er jern rundt hulkilen må det vurderes om det skal være en del av jomfruene eller om det skal fjernes siden det i stor grad påvirker valg av behandling og det vil være skadelig for gjenstanden på lang sikt. En samlet gjenstand vil på den andre siden vise bedre hvilken funksjon jomfruene hadde som en del av riggesystemet på et skip.

Problemstillingen er i hovedsak knyttet til valg stabiliseringsmetoder, men rensing og tørking av vil også være et tema. For å belyse og besvare problemstillingen er det først behov for undersøkelser innledningsvis for å forstå gjenstanden. Det er derfor viktig å kartlegge jomfruenes funksjon, hvilke materialer jomfruene består av, nedbrytningsprosesser og tilstand. Analyser, undersøkelser og diskusjon omkring jomfruenes verdi vil danne kriterier som legges til grunn for valg av stabiliseringsmetode.

### 2.1 Kildegrunnlag

Gjenstander er en stum kilde som ikke inneholder uttrykt budskap, men de kan likevel fortelle mye som en levning (Birkenes 1997:24). Jomfruene vil derfor være det viktigste kildegrunnlaget, og karakteriseres som primærkilden. Dermed vil jomfruene danne grunnlaget for analyser, undersøkelser og dokumentasjon av materialer, konstruksjon og nedbrytning. Alle andre kilder er sekundære (Kjeldstadli 2005:177-178). Særlig vil litteratur om tilvirkning av jomfruer være viktig for å belyse hvilke materialer de består av, samtaler med ulike

fågmiljø, litteratur om ulike behandlingsmetoder, samt hvilke ønsker Norsk Maritimt Museum har i forhold til dokumentasjon og konserveringsbehandling. Siden det er begrenset med litteratur spesifikt på vanntrukket tau, vil litteratur på vanntrukket tekstil benyttes for å belyse tau som materiale.

## **2.2 Kartlegging av jomfruene og dens bestanddeler**

Målet er å konservere jomfruene som en helhet. Siden de ulike behandlingene ofte er utviklet for hvert enkelt materiale, og tilpasset materialenes egenskaper er det viktig å kartlegge jomfruenes funksjon og bestanddeler. Som et ledd i å finne riktig behandlingsmetode var der derfor viktig å fastslå hvilke materialer jomfruene består av, i tillegg ønsket Norsk Maritimt Museum identifisering av materialene. Litteratur om jomfruenes tilvirkning og funksjon vil bli benyttet for å belyse jomfruenes bestanddeler, mens de innledende undersøkelsene og dokumentasjonen ble utført ved å studere jomfruene med det blotte øyet. Lys, forstørrelsesglass og mikroskop ble benyttet som hjelpemidler, mens ulike analysemetoder ble benyttet for identifisering av materialene. Analyser karakteriseres som ikke-inngripende når metoden ikke krever prøveuttak, semi-destruktiv når en prøve tas ut, men ikke ødelegges av analyse, og destruktiv når prøven ødelegges av analysen (Chiari 2010:119). Ut i fra etiske hensyn ble imidlertid prøveuttak begrenset.

### **2.2.1 Påvise jern rundt nedre jomfru**

Ut fra de innledende undersøkelsene er det klart at jomfruene består av organiske materialer i form av treverk og taufiber. I tillegg er det korrosjon i hulkilen rundt den ene jomfruen, og litteraturen om tilvirkning av jomfruer beskriver at jernbeslag ble lagt rundt nedre jomfru (Gjertsen 1980:106, Hobberstad 2010:40, Lindblom 2007), noe som indikerte at det kan være jern rundt den nedre jomfruen. Korrosjonen kan på den andre siden også stamme fra det omkringliggende miljøet i den arkeologiske konteksten, enten fra utfellinger fra miljøet rundt eller fra andre jerngjenstander i nærheten av jomfruene.

PEG er som nevnt en av de vanligste impregneringsmetodene for både tre og tau, men vandige PEG-løsninger er imidlertid korrosjonsfremmede. Dersom det er jern tilstede vil det påvirke valg av impregneringsmetode i stor grad. I tillegg er det viktig å påvise hvor det eventuelt er jern i hulkilen med tanke på at metallet ikke renses bort under renseprosessen hvis det besluttes å beholde jernet som en del av gjenstanden. Før rensing og behandling ble



påbegynt, ble det derfor utført røntgenfotografering og røntgenfluorescens (XRF). Siden litteraturen antyder at jomfruene kan ha jernbeslag og det er tydelig korrosjon rundt nedre jomfruen ble det utført røntgenfotografering for å bekrefte eller avkrefte om det var metall tilstede. XRF målinger ble utført som en ledd i bestemmelsen av jomfruenes materialer siden metoden kan si noe om hvilke metall som eventuelt er tilstede.

Røntgenfotografering og XRF sier imidlertid ikke noe om korrosjonen stammer fra gjenstanden eller det omkringliggende miljøet. Sveip-elektronmikroskop med energi-dispersiv røntgen spektroskop (SEM-EDS) kan gi en indikasjon om korrosjonen, og dermed eventuelt jernet er en del av gjenstanden ved å se hvilke elementer som er tilstede. SEM-EDS analysen ble utført før renseprosessen ble påbegynt som et ledd i å bestemme om korrosjonene er en del av jomfruene. Viser analyser og rensing at det jern i hulkilen er det viktig å diskutere om det skal beholdes eller fjernes med fokus på det etiske, hva som er det beste for gjenstanden og museets ønsker. Er det jern tilstede og beslutningen er å beholde jernet vil det påvirke valg av stabiliseringsmetode.

På grunn av oppgavens tidsramme, samt at problemstillingens hovedfokus er valg av stabilisering ble det i samråd med museet valgt å ikke vaske ut eventuelle forurensinger. Det er likevel viktig å være klar over problemene de kan skape på lengre sikt. Derfor ble det under SEM-EDS analysen samtidig undersøkt om jomfruene er forurensset med klorider og sulfater.

### **2.2.2 Påvise tjære**

Tauverk som ble benyttet på skip ble vanligvis tjæret for at det ikke skulle brytes ned så raskt under bruk. GC-MS (Gasskromatografi-massespektrometri) er en metode som kan påvise hvilke komponenter tjæren består av, komponentenes relative konsentrasjon, samt at metoden kan benyttes til å nyansere mellom forskjellige tjære og prøver fra samme tjæremile (Egenberg 2003, 2006). Siden metoden ikke var tilgjengelig ved studiet under utarbeidelse av oppgaven, samt at metoden er ressurskrevende, og hensikten var å påvise tilstedeværelsen av tjære ble det valgt å benytte Fourier transform infrarød spektroskopi (FTIR) for å påvise tjære på tauverket.

### 2.2.3 Nedbrytningsprosesser og tilstand

Det er i tillegg viktig å forstå nedbrytningsprosesser og jomfruenes tilstand for å kunne velge riktig behandlingsmetode. Det finnes flere metoder for å karakterisere grad av nedbrytning på tre og tauverk, blant annet SEM og FTIR, men det ble ansett som for tidkrevende i forhold til oppgavens rammer. Det finnes også andre mindre ressurskrevende metoder for å karakterisere grad av nedbrytning, blant annet densitet og fuktighetsinnhold.

Graden densiteten avviker fra verdiene til ferskt tre er et mål på grad av nedbrytning. Vanntrukket arkeologisk treverk har normalt mistet noe av materialet i celleveggen på grunn av nedbrytning, noe som fører til at den faktiske densiteten i treet er mye lavere enn den opprinnelige densiteten i ferskt treverk (Schniewind 1990:88), og tapet av materialet resulterer i redusert styrke. Innføring av stabiliserende materiale i form av impregneringsmiddel i cellelumen kan til en viss grad kompensere for tapet av material og styrke. Densitet kan derfor også benyttes for å beregne konsentrasjon og tid jomfruene bør ligge i et eventuelt impregneringsmiddel. Mineraler og salter i form av blant annet pyritt kan påvirke resultatet (Hedges 1990:137), derfor bør i tillegg en asketest utføres for å kartlegge hvor mye uorganisk materiale som finnes i jomfruene. Siden mål av densitet og en asketest krever et større prøveuttak fra treverket som vil bli estetisk forstyrrende ble det besluttet å ikke utføre analysene. Fuktighetsinnhold er en annen metode som kan indikere grad av nedbrytning i treverket, men resultatet vil ikke være representativt hvis treverket ikke er fullstendig vanntrukket. I tillegg krever det uttak av prøve på minst en kubikkcentimeter (Rodgers 2004:46-47). Siden jomfruene ikke kan karakteriseres som fullstendig vanntrukket, samt at det krever et større prøveuttak ble det besluttet at fuktighetsinnhold som metoden ikke vil gi et gyldig resultat.

Jomfruenes tilstand ble derfor vurdert visuelt, og siden treverket og taukveilen hadde synlig muggforekomst på overflaten ble det tatt prøve av muggen. Det finnes ulike arter av mugg, hvorav noen kan føre til tap av substans og reduksjon i styrke avhengig av hvilken art, mens andre i hovedsak er et estetisk problem (Unger m. fl. 2010:99). I tillegg kan mugg påvirke behandlingen ved oppblomstring i impregneringsbadet. Som et ledd i beslutningsprosessen ble det derfor tatt en muggprøve i form av tapeavtrekk for å identifisere art og hvilken fare den eventuelt utgjør for jomfruene i en stabiliseringsprosess og bevaring på lengre sikt.

## **2.3 Valg av behandling**

Resultatene fra undersøkelsene og analysene vil resultere i kriterier som danner grunnlag for valg av stabiliseringsmetode. Særlig vil resultatet om det er jern tilstede eller ikke spille en viktig rolle i beslutningsprosessen. Jern kompliserer behandlingen i tillegg til at det påvirker den langsiktige bevaringen. Dersom resultatene viser at det er jern i hulkilen vil det derfor vurderes om det er mulig å fjerne jernet, og om det er ønskelig ut i fra etiske og verdimessige hensyn.

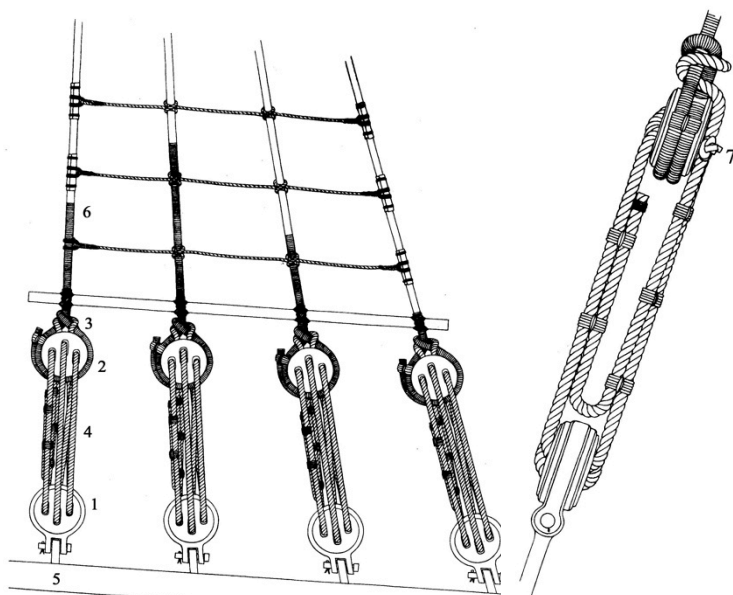
Aktuelle behandlinger vil diskuteres før det utarbeides et rammeverk hvor ulike behandlinger settes opp mot hverandre ut ifra ulike kriterier. I prosessen med å finne riktig behandling vil en egen tilpasset kost-nytte analyse benyttes som metode. Det vil være et hjelpemiddel i beslutningsprosessen siden det finnes veldig mange ulike behandlingsmetoder. Det er et verktøy som tar i betraktning alle kriteriene for behandlingen, og det gjør en subjektiv bestemmelsesprosess mer objektiv (Cassar 1998:6). Kost-nytte analysen vil ta i betraktning rammer som ikke kan endres, kriterier for suksess, hva som er det beste for gjenstanden og hva Norsk Maritimt Museum ønsker. Egne kriterier ut ifra analysene og undersøkelsen vil dermed legges til grunn, og særlig vil gjenstandens helhet, tidsrammen og laboratoriets fasiliteter være viktig i beslutningsprosessen. Deretter vil et forsøk settes opp hvor sorbitol som forbehandlingsmetode testes ut på vanntrukket arkeologisk tre og tauverk. Beskrivelse av behandlingsforslaget og faktisk utført behandling vil bli beskrevet i detaljer i kapittel 9.

### 3 Jomfruenes funksjon og arkeologisk kontekst

Hensikten med dette kapitelet er å diskutere jomfruenes generelle funksjon og den spesifikke arkeologiske konteksten for å belyse de ulike materialene jomfruene fra Norsk Maritimt Museum består av. Kapittel 4 gir mer detaljert beskrivelse av selve konstruksjonen og tilvirkningen av jomfruer. Begrepet båt står for alt flytende, både farkost, båt i vid forstand og båt i snever forstand, mens skip karakteriseres som større enn båt (Godal 2001:12). I denne oppgaven vil begrepet skip i hovedsak benyttes i forbindelse med jomfruenes funksjon, mens båt vil kun bli benyttet i forbindelse båt 2.

#### 3.1 Jomfruenes generelle funksjon

Jomfruer ble benyttet på seilskip for stramming av vantene og bardunene (figur 3), og virkemåten var i prinsippet som blokker. I motsetning til blokkene sitter imidlertid jomfruene



Figur 3. Illustrasjon av jomfruer og terminologi (Kihlberg 1976:84).

1. Røstjomfru – nedre jomfru
2. Vant jomfru – øvre jomfru
3. Bendsel rundt øvre jomfru
4. Taljerep som i enden har en taljerepsknop
5. Røstjern
6. Vant
7. Enkel taljerepsknop

der det ikke er nødvendig å stramme og dra så mye, og de trenger derfor ingen bevegelig skive (Lindblom 2007:1). For å støtte masten på skip mot vindpresset under seiling gikk det fra toppen av masten ett sterkt tau, kalt stag, til stavnen. I tillegg var det flere tau ut fra masten ut til hver side som skulle støtte mot vindpresset, kalt vant. De var strukket noe akterover i forhold til masten, og sammen med staget ble masten låst fast. Når seilet presses av vinden blir vantene utsatt for sterkt strekk, og jomfruenes funksjon var å stramme vantene (Molaug 1994:159). Vantene måtte i blant

strammes, særlig hvis det hadde vært høy sjø eller det hadde regnet lenge og tauet deretter tørket opp (Lindblom 2007:2). Jomfruer tilhørte dermed den faste riggen på seilskip. I hver vant stod det to jomfruer, hvor en sto i røstjern som var festet til skroget, og den andre var festet fast i vant eller bardun. Taljerepet bandt de to jomfruene sammen. Repet var festet med taljerepsknopen på innsiden av den øverste jomfruen, og repet gikk opp og ned mellom jomfruene slik at det i prinsippet oppsto en talje. Jomfruenes dimensjoner varierte med skipets størrelse (Gjertsen 1980:104), og fra slutten av 1800-tallet begynte strekkfisker å erstatte jomfruer (Molaug og Scheen 1983:95, Gjertsen 1980:104-106).

### **3.2 Arkeologisk kontekst**

Jomfruene ble funnet i forbindelse med Norsk Maritimt Museums arkeologiske utgraving av BC02 i Bjørvika i 2008/2009. BC02 og jomfruene ble funnet i Barcodefelt B11-B13 som i dag ligger sør for Bispekaia midt mellom Oslo Sentralstasjon i nord og Rostockergata i sør (Hobberstad 2010:7-8). Det ble i alt funnet 13 båter under utgravingen (Egenberg 2011:pers. komm.).

Bjørvika har siden tidlig middelalder fungert som et sentralt havneområde og var et viktig knutepunkt for handel og skipsfart. Både Akerselva og Alnaelva har sitt utløp i nærheten av området, og begge fungerte som viktige transport og ferdselsårer. I tidlig middelalder gikk strandlinjen i Bjørvika helt opp til Grønlandsleiret, og Barcodefeltet lå da under vann. Det var først etter andre halvdel av 1800-tallet at området ble planmessig utfylt. Området ble tidligere kalt Grunningen, og har dermed trolig vært langrundt. Tilsig av avsetningsmasser fra elvene, samt dumping av ballast og søppel har bidratt til at området har blitt grunnere (Hobberstad 2010:8). Rundt 1530 ble oppgangsaga tatt i bruk langs elvene, noe som fikk store konsekvenser for elvavsetningene innerst i Bjørvika, og gjorde området enda grunnere (Sprauten 1992:27:163).

BC02 har trolig vært kassert og lagt ned i forbindelse med utbygging og landvinning innerst i havneområdet i Bjørvika. Lite gjenstandsfunn vitner om at viktige deler trolig har blitt fjernet før nedleggelse. Det er derfor lite sannsynlig at den har forlist og deretter blitt forlatt. Alle steinene som ble funnet fordelt i båten vitner også om at båten kan ha vært senket med hensikt. Det er registrert sjøavsatte lag både over og under BC02 som kan tyde på at båten har blitt liggende under vann etter nedleggelsen.(Hobberstad 2010:52-53).

BC02 og jomfruene ble funnet ca -1.5 m.o.h., og i hovedsak på sjøavsatt leire, i spredt flis og skjell (Hobberstad 2010:14-15). På styrbord side i leiren under skroget ble det funnet deler av festeanordningen til masten og seilet. Det ble blant annet funnet seks jomfruer med både tau og jernbeslag (Hobberstad 2010:40). Den omkringliggende kompakte leiren har bevart jomfruene fra Norsk Maritimt Museum godt (figur 4), siden det førte til lite luft og mye fuktighet (Hobberstad 2010:9).



Figur 4. Jomfruene *in situ* (Hobberstad 2010:40).

### 3.3 Datering og proveniens

Foreløpige dateringer fra Barcodeutgravingen viser at området har vært i bruk fra 1571-1623 (Hobberstad 2010:8). Det knytter området opp mot den store bybrannen i 1624 da omtrent hele byen ble ødelagt (Sprauten 1992:147). Gjenstandsmateriale som keramikk og kritt Piper gir også en indikasjon på tidlig 1600-tallet, og dateringer fra området hvor BC02 ble funnet viser at området har vært i bruk fra 1606 – 1623. Det er anslått at båten hadde en fartstid på 30 år før den ble deponert og dermed kan det antas at båten og jomfruene er fra rundt 1570-1590 tallet. Det overliggende kullaget er mest sannsynlig fra brannen i 1624, noe som indikerer at båten ikke kan være yngre enn det, og spor etter bruk av oppgangssagen indikerer at båten trolig ikke er eldre enn 1530 (Hobberstad 2010:52).

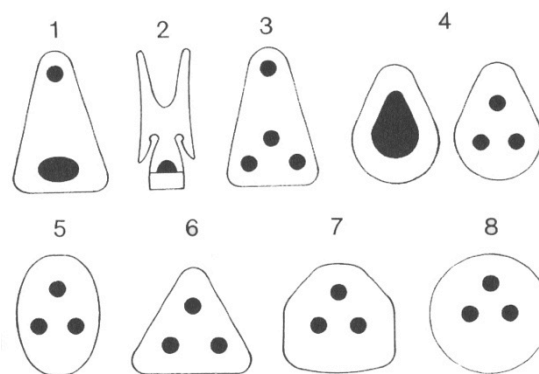
Jomfruer har gjennom tiden utviklet seg og endret form (figur 5). Nye former ble fremstilt fra eldre, trolig for å øke funksjonsdyktigheten, men også som et resultat av trender og materialtilgang (Lindblom 2007:16). I oldtiden var jomfruen avlange, formen beholdt de gjennom middelalderen, men med en åpning i toppen av jomfruen og tre hull i bunnen for å feste taljerepet. På 1400-tallet fikk jomfruen en triangulær form, og ble flatere. Fra midten av 1600-tallet ble de runde jomfruen tatt i bruk (Mondfeld 2005:244). Typologisk sett er jomfruen fra Norsk Maritimt Museum mellom type 4 og 5, som er karakteristisk for 1100 -

1400 tallet (figur 5). Jomfruen kan dermed være eldre enn båten. De kan eksempelvis være gjenbruk fra eldre skip, men på den andre siden skjedde overgangen fra avlange til rundere jomfruer trolig mellom 1600-1650. Det kan dermed være håndverkere som fortsatt tilvirket eldre typer jomfruer side om side med nye, siden overgangen skjedde forholdsvis raskt (Lindblom 2007:17).

BC02 er klinkbygget og indikerer dermed nordeuropeisk opprinnelse. Båten består av eik og bartre, hvorav det sistnevnte ikke er et uvanlig materiale i Østersjøområdet. Pinke er en av flere norske båttypen som har likehetstrekk med BC02 (Hobberstad 2010:52-53). Pinkeskip er en betegnelse over norske fartøyer på 1600-tallet, som var to eller tremastet med krum baug og skarpt skrog. Fokkemasten sto rett aktenfor forstavn, og den hellet sterkt forover. Stormasten stod omtrent midtskips, og hellet noe akterover (Molaug 1989:197). Det råder dermed noe usikkerhet angående opprinnelse til BC02, og en nærmere hentydning til båtens (Hobberstad 2010:53), og dermed jomfruenes proveniens er foreløpig ikke mulig å påvise.

### 3.4 Jomfruenes funksjon på BC02

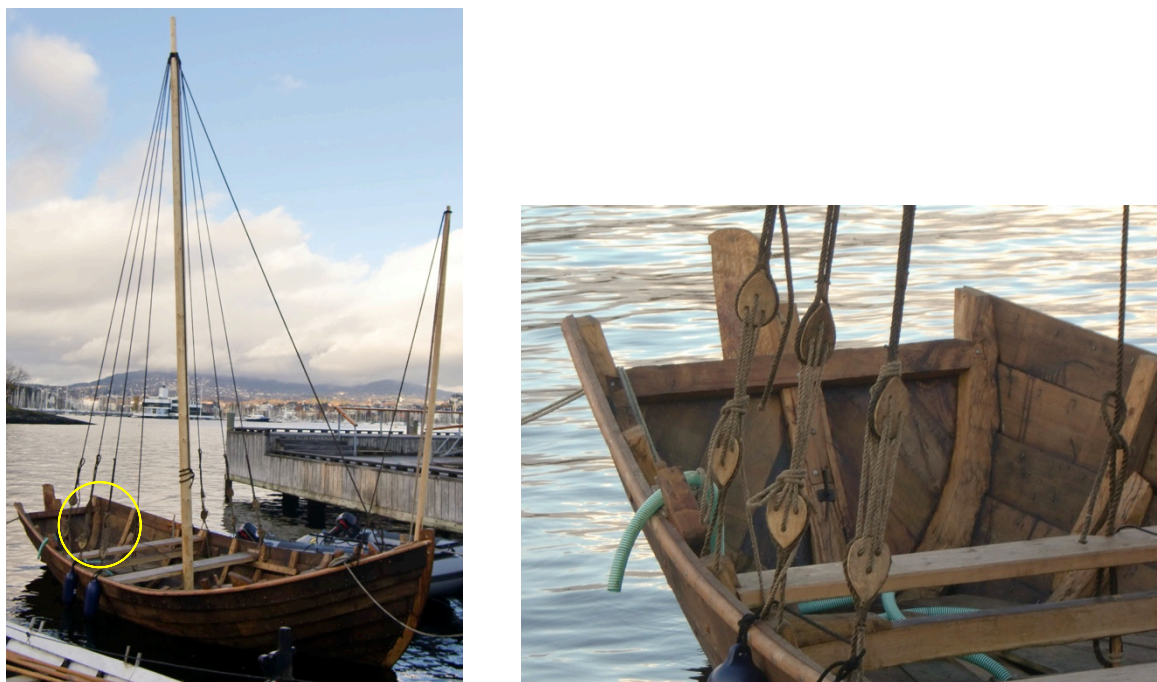
BC02 har trolig hatt minst to master. En helt forut i baugen, og en omtrent midt i båten. Mastehullets plassering, samt funnet av jernbeslag, jomfruer og tau antyder at det har stått en



*Deadeyes: 1. Ancient Roman; 2. 9-10th century Viking; 3. 11-13th century; 4. 12-15th century; 5. 12-15th century; 6. 15-16th century; 7. First half of 17th century; 8. After mid-17th century*

Figur 5. Illustrasjon av jomfruenes utvikling (Mondfeld 2005:244).

høy mast i senter. Jomfruene ble funnet et lite stykke bak stormasten, som kan bety at de var festet til skroget noe akterut for masten (figur 6). Den kraftige masten med jomfruene, samt en ekstra fokkmast indikerer et skip med hovedvekt på seiling (Hobberstad 2010:51-52).



Figur 6. Rekonstruksjon av Vaaghals, båt 06, som også ble funnet under samme utgraving. Illustrasjon av hvilken funksjon jomfruene kan ha hatt på BC02.

Funnet av deler til riggen på styrbord side viser at det har vært en kraftig rigg med minst tre parallelle tau som har holdt masten og seilet på plass. De har vært festet til utvendige stringere og gått langs utsiden av skroget. Det ble i samme området funnet bjelkefragmenter i eik som trolig har fungert som avstivere av hele festeanordningen eller deler av en taustige. Funnet bygger opp under antagelsen om at masten i senter trolig har vært massiv og høy (Hobberstad 2010:40).

BC02 er den største båten registrert i Barcodefeltet, og den var trolig mellom 14-15 meter lang. Dens store dimensjoner og konstruksjonselementer med to master og gjennomgående dekk gir et inntrykk av at skipet er konstruert for lengre reiser med store lastemuligheter. Det registrerte ildstedet på dekk antyder også lengre opphold på båten, og funn av kanonkuler kan bety at det har vært behov for å beskytte dyrebar last. BC02 har trolig vært en høy rundgattet klinkbygd båt med fremskutt baug, dyptgående kjøl og rett akterstevn (Hobberstad 2010:50-52).



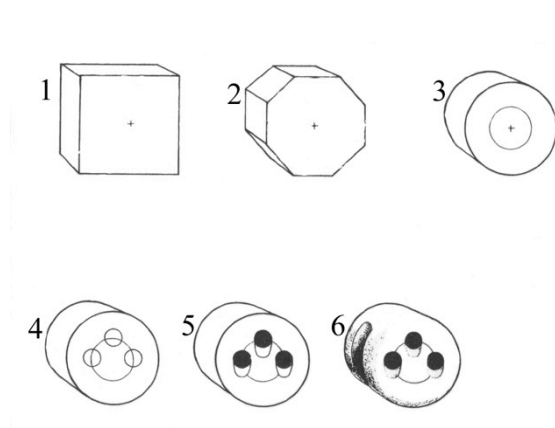
## 4 Konstruksjon og tilvirkning

Gjenstanden består av to dråpeformede jomfruer i tre, tau og en løs taukveil. Med bakgrunn i den visuelle undersøkelsen og litteratur om fremstilling av jomfruer er det knyttet spørsmål til om det er metall i form av jernbeslag rundt nedre jomfru. Kapitlet beskriver jomfruenes og tauets konstruksjon, samt tilvirkningen. Kapitlet vil samtidig belyse spørsmålet om det er jern tilstede ved å se på hvordan jomfruer ble laget. Beskrivelse og identifikasjon av originale materialer presenteres i kapitel 5.

### 4.1 Jomfruene

#### 4.1.1 En blokkmakers verksted – tilvirkning av jomfruer

Blokkmakeren leverte blant annet blokker, jomfruer og ratt til skip. Arbeidet ble ofte utført på eget verksted, og dreierbenken var det viktigste redskapet (Gjertsen 1980:41-52), men det var



Figur 7. Fremgangsmåte ved tilvirkning av runde jomfruer i dreiebenk (Gjertsen 1980:105).

1. Et kvadratisk trestykke skjæres ut av et bord med den tykkelsen jomfruen skal ha. Senter markeres.
2. Hjørnene sages av.
3. Emnet settes i dreierbenken og dreies rundt. Sirkel avmerkes med dreierjernet for plassering av hullene.
4. Hullene bores i dreierbenken.
5. Hullene avrundes i den retningen taljerepet settes.
6. Utskjæring av hulkilen gjøres i dreierbenk eller for hånd.

ikke ensbetydende med at alle jomfruene ble dreiet. Jomfruene funnet i forbindelse med Vasaskipet har kantete former, noe som indikerer at de ble hogget til og utskjært. Trolig har en type sjablonger blitt benyttet for å gi jomfruene dens form og plassere hullene (Lindblom 2007:6-7). De dråpeformede jomfruene fra Norsk Maritimt Museum har dermed trolig vært mer kostbare å produsere siden de ikke kunne dreies (Gjertsen 2011:pers.komm.).

Grovutformingen av jomfruene foregikk med sag (figur 7). Ved tilvirkning av runde jomfruer ble det 8-kantente trestykket deretter satt i dreiebenken og avrundet. Jomfruene ble plassert slik at vedens retning kom på tvers av taljerepets retning, og det måtte derfor tas hensyn til når de tre hullene skulle plasseres. To

av hullene stod ved siden av hverandre, og det tredje hullet stod slik at det dannet en likebenet trekant. Hullene ble plassert i forhold til sentrum, og en sirkel som ble avsatt i dreierbenken. For at taljerepet ikke skulle slites unødig mot jomfruen ble hullene avrundet, med unntak av et hull i øvre jomfru, der taljerepskopen skulle sitte. Rundt kanten av nederste jomfru ble det laget spor for røstjern, og i øvre jomfru spor for bardunstropp. Sporene ble utformet i dreierbenk eller med bor. Ved bruk av dreierbenk ble jomfruen satt ut av senter siden bardunstroppen ikke trengte hulkile rundt hele jomfruen. Jomfruer som skulle stå i røstjern fikk hulkile rundt hele kanten, og de ble deretter sendt til smeden for å få smidd på røstjernet. ”Bestemmelser for Forfærdigelse af Jomfruer” (Mellemverftet) som er av ukjent opphav, men kan i følge Gjertsen (2011:pers.komm.) trolig dateres til første halvdel av 1800-tallet beskriver også at jernbeslag ble lagt rundt jomfruer (vedlegg 1). Jomfruer som ble satt i røst og var utstyrt med beslag av jern, og ble kalt beslåtte jomfruer (Zwilgmeyer 2011). Jomfruer ble i hovedsak tilvirket av ask (*Fraxinus excelsior*) eller eik (*Quercus robur*) (Gjertsen 1980:104-106), eksempelvis er majoriteten av jomfruene funnet i forbindelse med Vasaskipet er laget av ask, men eik forekommer også (Lindblom 2007). Det er også funnet jomfruer laget av bøk (*Fagus sylvatica*) i forbindelse med Farestadvraket (Molaug 1981). På slutten av 1600-tallet importeres pokkenholt (*Lignum vitae*) siden det var et sterkere materiale (Lindblom 2007:9).

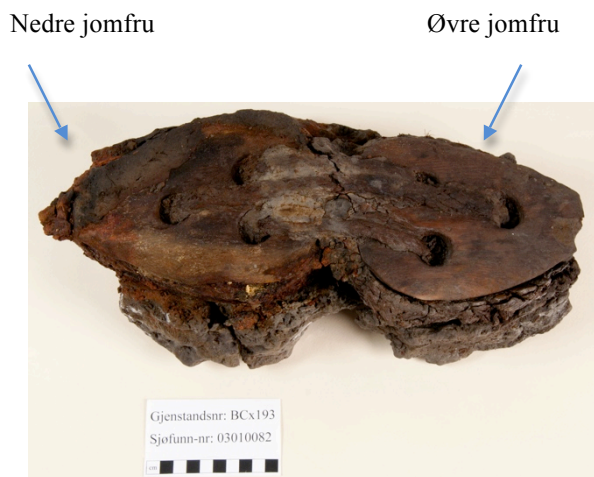
#### 4.1.2 Jomfruenes konstruksjon

De to jomfruene fra Norsk Maritimt Museum består av dråpeformede treklosser med tre gjennomgående avrundete hull i hver (figur 8-11, og vedlegg 2, figur 29-32). To av hullene står ved siden av hverandre, og det tredje står slik at det danner en trekant. Hullene har en diameter mellom 2,25-2,65 cm, og avstanden mellom de tre hullene varierer fra 1,95-4,20 cm. Se tabell 1 for mål av jomfruene.

Tabell 1. Mål av jomfruene

	Øvre jomfru	Nedre jomfru
<b>Høyde</b>	18,20 cm	18,50 cm
<b>Bredde</b>	13,34 cm	12,87 cm
<b>Tykkelse</b>	3,90 cm	5,00 cm

Det er en avrundet hulkile rundt begge jomfruene. Hulkilen går imidlertid ikke helt rundt, men avbrytes av en rett hake på den spisse enden. Hvorfor jomfruene fikk en rett hake er usikkert, men kan trolig være at det hindrer jomfruene i å vri seg i vantet. Det forklarer på den andre siden ikke hvorfor jomfruene med jernbeslag også har en rett hake (Lindblom 2007:8). Hulkilen rundt nedre jomfru hvor det går et tau er 0,5 cm dyp. Øvre jomfruens hulkile er 1 cm dyp og dekket av korrosjon. De to jomfruene er forbundet med tauverk fra hvert av de tre hullene, og på baksiden av øvre jomfru er det en klump med tau, som trolig er taljerepsknopen (figur 9). De ligger et tau-fragment over tauene på baksiden av øvre jomfru (figur 9), som trolig er sekundært. Jomfruene er plane på overflaten, men buer svakt ned mot kanten av hulkilen.



Figur 8. Jomfruenes fremside.



Figur 9. Jomfruenes bakside.



Figur 10. Jomfruenes venstre side.



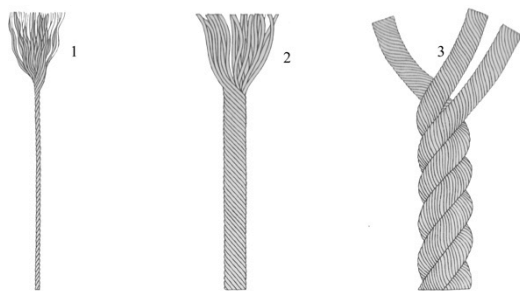
Figur 11. Jomfruenes høyre side.

De runde jomfruene beskrevet i 4.1.1 ble laget slik at fiberretningen kom på tvers av taljerepets retning, men både de dråpeformede jomfruene fra Vasa (Lindblom 2007:5) og jomfruene fra Norsk Maritimt Museum har vertikal fiberretning. Det fører trolig til at jomfruene har mindre strekkfasthet siden taljerepet ligger og gnager mot de avkappede fibrene som gjør at det lettere oppstår sprekker i treverket, samtidig som det fører til slitasje på tauet. Ligger fibre horisontalt er kantene mykere og friksjonen blir mindre (Lindblom 2007:17). Jomfruenes overflate er dermed tangentialsnittet, hakene er tverrsnittet og langsiden av jomfruene er radialsnittet. Jomfruene er trolig tilvirket av ask, se kapittel 5.1.4 for treidentifikasjon og definisjon av de ulike snittene.

## 4.2 Tauverket

### 4.2.1 Tilvirkning

Tau består av korte eller lange fibre som er tvunnet til garn, og garnet tvinnes til dukter eller kordeler, som deretter slås eller flettes til tau (McKenna m. fl. 2004:77-81, Pawson 2004:10). Konstruksjonen av tauet og materialet det er laget av avgjør tauets struktur, fleksibilitet, bruddstyrke og holdbarhet, samt hvordan det oppfører seg under bruk (Pawson 2004:10). Et tau får dermed ulike egenskaper etter hvordan det er slått. Utsettes tauet for en høy,

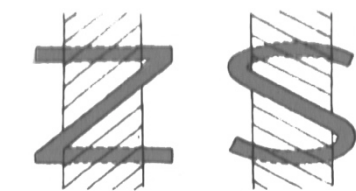


Figur 12. Illustrasjon av treslått trosse (Kihlberg 1976:140).

1. Z-slått garn
2. S- slått kordel
3. Z-slått tau

statisk belastning som for eksempel taljerepet, bør tauet ha en hard slagning. Tau med fire kordeler har en rundere fasong enn tau med tre kordeler, noe som er viktig når et tau utsettes for høy belastning, samtidig som det går gjennom et hull eller en blokk. Treslått tau klemmes raskere ut av fasong enn et fireslått tau, og fireslått tau er som regel ganske fast eller hardt slått, fordi det brukes der det er høy belastning. Det er litt svakere enn treslått tau i samme dimensjon, men har bedre bruddforlengelsesegenskaper (Hertzberg). Innenfor slått tau skilles det mellom strosseslått og kabelslått tau. Trosseslått tau består av en operasjon hvor kordelene slås sammen (figur 12),

mens kabelslått krever to operasjoner hvor kordelene først slås sammen til trosser, og trossen slås deretter sammen til kabeltau (Stavseth 1948:72, Nordanger 1977:6). Det eldste og fortsatt mest brukte tauet er treslått trosse (McKenna m. fl. 2004:81). Tauet som benyttes til å bendsle jomfruer i vant og bardun kalles bendselliner og ble fremstilt på samme måte som trosseslått tau (Stavseth 1948:73).



Figur 13. Z - og S - slått tau (Kihlberg 1976:140).

For å få et fleksibelt og sterkt tau tvinnes garnet en vei, mens kordelene tvinnes motsatt vei. Ulik retning på tvinningen benyttes for å oppnå styrke og for å få friksjon slik at tauet beholder formen (Pawson 2004:10, Stavseth 1948:70).

Tvinnes garnet i Z-retning, tvinnes kordelene i S-retning (figur 12 og 13). Retningen bestemmes av tvinnet som det ferdige tauet skal ha, samt slagingsprosedyren (Hansen 1997:10-11).

Z-slått tau er det mest vanlige (Kihlberg 1976:140, Nordanger 1977:6), og ble benyttet blant annet på Vasas jomfruer (Lindblom 2007:2).

Tau ble fremstilt på reperbaner av ulike materialer (Stavseth 1948, Wahlbeck 1991), og i Norden ble lindebast, hud av okse, ku, hest, elg, hund, sel og hvalross, hår fra hest og gris, greiner og røtter benyttet til tauverk. Med andre ord ble det folk hadde gående og stående på tunet, og i skogen utnyttet, mens hamp (*Cannabis sativa*) er en kjent importvare (Undrum 2010) fra perioden jomfruene er datert til.

Både bast og hamp ble brukt som råstoff ved fremstilling av tauverk på vikingskipenes tid, men i Norge bestod tauverk i hovedsak av bast (Stavseth 1948:11-12). Bast er benevnelsen på den hvite innerbarken mellom veden og barken som i større eller mindre mengde fins i ulike treslag. Lind (*Tilia cordata*) er det treslaget i Norden som har vært mest brukt til å fremstille tauverk av bast siden det vokser naturlig (Høeg 1974:16, Schjølberg 1988:108, Skard 2002, Hertzberg 2000:4).

Tau av lindebast er lett og tåler vann veldig godt selv uten noen form for impregnering, noe som kan forklare hvorfor det kunne konkurrere mot hamp i lang tid. Tauet er skånsomt mot hendene, og deformeres ikke når det tørkes (Schjølberg 1988:131, Skard 2002:121, Hertzberg). Det er et lett og forholdsvis sterkt og lite elastisk fiber, selv om det er svakere enn hamp i ren bruddstyrke. Den største svakheten med bastetau av lind er at det vil flise seg opp ganske fort (Hertzberg). Tauverket funnet under utgravingen av Bryggen i Bergen er i

hovedsak laget av materialer som stammer fra nordiske trær, hvor lindebast er særlig godt representert (Schjølberg 1988).

Det finnes flere måter å fremstille lindebast, og veien frem til ferdig bast var både arbeids- og tidkrevende, hvorav den vanligste måten var å røyte basten da tauet ble mykt og føyelig. Det vil si at basten ble lagt i vann i en periode, slik at limstoffet mellom bastelagene ble løst opp. Når basten ble tatt opp igjen, var det lett å skille de papirtynne lagene fra hverandre (Hertzberg 2000:5, Hertzberg). Lindebasten kunne også fremstilles rått ved å ta barken av treet og rive bastfibrene av i rå tilstand. Varmebehandlet lindebast ga det sterkeste tauet hvor greinene ble tatt om høsten og plassert over røykovn i 24 timer. Det førte til at barken løsnet og basten kunne splittes i tynne lag (Schjølberg 1988:108-109, Undrum 2011:pers. komm.). Alle tre tilvirkningsmetodene ble identifisert i Bryggen i Bergen (Schjølberg 1988:109-110). Etter fremstilling av bastestrimlene tvinnes de til kordeler. To kordeler tvinnes deretter sammen før den tredje og siste kordelen tvinnes mellom de to første. Kordelene ligger helt inntil hverandre slik at det treslåtte tauet blir massivt (vedlegg 2, figur 33-37).

#### 4.2.2 Tauets konstruksjon

Taukveilen og tauet rundt øvre jomfru karakteriseres som treslått trosse. Hvordan tauene som forbinder jomfruene er slått er vanskelig å fastslå siden tauene er så sammenklemt, men trolig er de treslått. Både taukveilen, tauet rundt øvre jomfru og tauet som forbinder jomfruene er Z-slått og er trolig fremstilt av bast. Se kapittel 5.1.5 for fiberidentifikasjon. Diameteren på tauet som forbinder jomfruene varierer mellom 1,24 cm og 1,98 cm. Tauet rundt øvre jomfru er 2,01 cm i diameter og taukveilen er 1,60 cm (figur 8-11, figur 14-15 og vedlegg 2, figur 38-39)



Figur 14. Taukveil.



Figur 15. Detalj av taukveil. Z-slått tau.

### 4.2.3 Tjære

Tauverk som ble benyttet på skip ble vanligvis tjæret for at det skulle holde seg bedre i vann. Tjæringen kunne foregå etter at garnet var spunnet, etter at garnet var slått til kordeler eller etter at tauet var slått ferdig. I tilfeller hvor garnet ble tjærebredd ble tjærekjelen plassert i enden av reperbanen. Tjæren ble oppvarmet til 75°C, og så snart garnet var utspunnet ble det trukket under en jernbolt eller gjennom hullet i en trekloss som stod i tjærekjelen. Etter at garnet hadde passert tjæren ble garnet halt igjennom tauverk slik at overflødig tjære ble strøket av (Stavseth 1948:69-70, Wahlbeck 1991:113, Jensen 1924:1). Tjæres tauverket etter slagning vil imidlertid ikke tjæren trenge like godt inn som ved tjæring av garn eller kordeler, og tjæret tauverk som lagres over lengre tid får bare 75 % av utjæret tauverks styrke i samme dimensjon. Det ble derfor anbefalt å benytte utjæret tauverk der hvor tauet ikke utsettes for nevneverdig med vann (Wahlbeck 1991:47). Tauverket taper styrke ved tjæring, men er mer motstandsdyktig mot nedbrytning enn utjæret, og derfor ble omtrent alt tauverk om bord på skip tjæret (Jensen 1924:1). Tjære kan utvinnes av alle treslag, men i Norge og Norden er tjære så godt som ensbetydende med furutjære. Tyri er betegnelsen på harpiksholdig treverk fra furu (*Pinus sylvestris* L.) og utgjør råstoffet for tyritjære. Tjære fremstilles ved redusert forbrenning av tyri i en tørdestillasjon. Før industrialiseringen foregikk fremstillingen av tjære ved milebrenning (Egenberg 2006:115). Se kapittel 5.1.6 for påvisning av tjære.

## **5 Originale materialer**

Jomfruene består av tre og tau som er organiske materialer. Ut i fra litteraturstudier og korrosjonen i hulkilen er det trolig jern tilstede, som er et uorganisk materiale. Opprinnelig var distinksjonen mellom organiske og uorganiske materialer basert på om en forbindelse stammer fra en levende organisme eller ikke. Etter oppdagelsen om at organisk materiale kan fremstilles på laboratorium er definisjonen at organisk materiale er basert på karbon (Zumtahl 1998:971, Cronyn 2004:238). Organisk og uorganisk materiale er derfor kjemisk veldig ulike, og reagerer dermed forskjellig på nedbrytning og har ulike krav til konservering.

Kapitlet identifiserer og beskriver materialenes oppbygging siden det er viktig å forstå de ulike materialenes egenskaper for å finne riktig behandling. Identifikasjon av materialene er også viktig siden det belyser det teknologiske aspektet ved jomfruene, samtidig som det var museets ønske. De ulike materialene er komplekse og beskrivelsen av den kjemiske oppbyggingen vil derfor være generell, og tar for seg det som er viktig for å forstå nedbrytningsprosesser og hvilken behandling de ulike materialene krever. Kapitlet kartlegger også om det er jern tilstede i hulkilen rundt nedre jomfru.

### **5.1 Cellulosebasert materiale**

#### **5.1.1 Treets oppbygging**

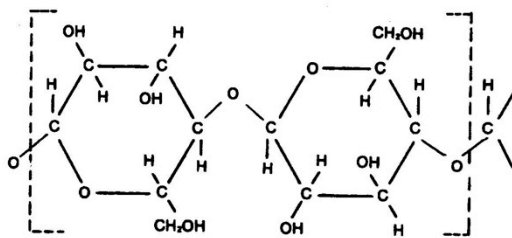
Levende tre er bygget opp av forskjellig cellevev, hvert med karakteristiske celletyper. De ulike celletypene gir treet dets anisotropiske egenskaper. Ytterst ligger barken som består av døde celler som beskytter vekstlaget innenfor, og under barken ligger basten. Det er levende celler som transporterer byggestoffer i treet. Deretter følger kambiet som hvert år danner vedceller, hovedsak innover i treet. Yteveden transporterer vann og næring oppover i treet, mens kjerneveden består av døde celler (Jørgensen 1989:19-20, Skaug 2007). Kjemisk består derfor tre og bastfiber av de samme materialene. Både jomfruene og tauverket er cellulosebasert materiale og er dermed kjemisk like, men ikke nødvendigvis mekanisk like.

#### **5.1.2 Kjemisk oppbygging av cellulosemateriale**

Treverk er sammensatt av ulike kjemiske komponenter hvor de viktigste er de organiske molekylene cellulose, hemicellulose og lignin. Cellulose er en polymer bygget opp av 9000-



15 000 glukoseenheter som danner lange ugrenede molekyler (figur 16). Bunter med ugrenede lange cellulosemolekyler danner fibriller hvor molekylerne til dels er ordnet i tette krystallinske områder og dels løsere amorfe områder. I de krystallinske områdene holdes molekylerne parallelt sammen i en fast og ordnet tredimensjonal krystallstruktur av hydrogenbindinger. I de amorfe områdene er ikke kjedene parallelle, og det oppstår en uordnet struktur. Cellulosefibrillene er hovedkomponenten i celleveggen (Jørgensen 1989:10-12, Rowell m. fl. 2005:37-38, Tímár-Balázsy og Eastop 1998:22).



Figur 16. Strukturformel for cellulose (Thomassen 1997).

De krystallinske områdene gir polymerene stivhet, og mobiliteten til polymerene er begrenset siden områdene er stive og ubøyelige. Det er også vanskeligere for vann og kjemikalier å trenge gjennom krystallinske områder. Cellulosefibrener mekaniske styrke og stivhet er avhengig av lengden og andel krystallinitet, mens de amorfe områdene gir fleksibilitet og elastisitet. Forholdet mellom krystallinske og amorfe områder varierer mellom de ulike cellulosefibrener. Svelling ved absorpsjon av vann, samt kjemiske reaksjoner i form av nedbrytning er ofte begrenset til de amorfe områdene, selv om over tid kan disse prosessene strekke seg til de krystallinske områdene ved at de sekundære bindingene brytes (Tímár-Balázsy og Eastop 1998:11:22). Se kapittel 6.1 for generelle nedbrytningsprosesser.

Hemicellulose er en amorf karbohydrat polymer, men skiller seg fra cellulose ved å ha kortere og grenete molekyler (Florian 1990b:24). Holocellulose er fellesbetegnelsen på hemicellulose og cellulose, og utgjør 65-70 % av treets tørre vekt. Holocellulose bidrar til treets strukturelle sammensetting (Rowell m. fl. 2005:37:40, Jørgensen 1989:19), og har rikelig med hydroksylgrupper som er ansvarlig for fuktopptak gjennom hydrogen bindinger (Rowell m. fl. 2005:37).

Lignin er en amorf, kompleks og aromatisk polymer som utgjør 25-30% av treets tørre vekt (Rowell m. fl. 2005:43, Kucera og Næss 1999:197). Lignin er ujevnt fordelt i celleveggen og forsterker bindingene mellom cellulosemolekylerne i celleveggen. Lignin danner grunnlaget

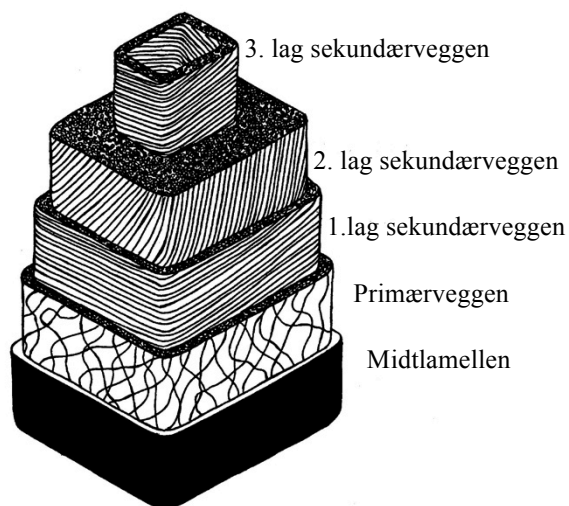
for treets hardhet og fasthet. Cellulose og hemicellulose danner bindingsverket i treet, mens lignin binder det hele sammen (Kucera og Næss 1999:196-197). Sammen danner de kjemiske komponentene en stiv, men elastisk cellevegg (Jørgensen 1989:39).

Bastfibrene inneholder cellulose, hemicellulose, lignin og pektin (Tímár-Balázs og Eastop 1998:23). Pektin er en hydrofil komponent og en del av den amorfe matriksen mellom cellulosemikrofibrillene, og gir sammen med lignin stivhet til celleveggen (Florian 1990b:24).

### 5.1.3 Cellenes oppbygging

Innsikt i hvordan celleveggen er bygget opp er viktig for å forstå treets egenskaper og oppførsel siden det er celleveggen som fører til at treverket krymper under tørking.

Celleveggenes struktur og kjemiske sammensetning er den samme i alle cellene uansett hvilken



Figur 17. Illustrasjon av lagene i celleveggen (Thomassen 1997).

funksjon de har. Celleveggen er bygget opp av flere lag som omslutter lumen (figur 17), hvor midtlamellen er det ytterste laget og grenser til nabocellene. Midtlamellen består for det meste av lignin, og er limet som binder de enkelte cellene til hverandre. Det neste laget kalles primærveggen, og består av tilfeldig orienterte cellulosemikrofibriller som er gjennomtrukket med lignin. Primærveggen er veldig tynn, og er vanskelig å skille fra midtlamellen.

Innenfor primærveggen finnes

sekundærveggen som består av tre lag. Etter hvert som protoplasma produseres i celleveggen reduseres lumen, og det første laget som dannes er  $S_1$ . Laget er tynt og består av cellulosemikrofibriller som har en regelmessig orientering på tvers av cellens lengderetning. Det andre og viktigste laget er  $S_2$  som definerer cellens egenskaper, og dermed cellulosematerialets egenskaper på et makroskopisk nivå.  $S_2$  er det tykkesete laget i sekundærveggen og er dermed en stor bidragsyter til cellens samlede egenskaper. Den har lavere innhold av lignin, og har en mikrofibrill vinkel som er nærliggende aksial retning.  $S_3$  er

det innerste laget mot lumen, og mikrofibrill ligger mer eller mindre på tvers av fiberretningen. Laget er tynt og har det laveste innhold av lignin av alle lagene i sekundærveggen (Wiedenhoeft og Miller 2005:18-19, Unger m. fl. 2010:13-14, Jørgensen 1989:38-39).

Pektin i bastfibrene finnes i hovedsak i midtlamellen og primærveggen, og mengden varierer mellom celletyper (Florian 1990b:24). Pektin hydrolyseres av syrer og enzymer og er næring for mange bakterier. Røyting av bastfiber er en bakteriell hydrolyse av pektin fra midtlamellen som separerer cellene (Florian 1990b:25, Tímár-Balázsy og Eastop 1998:23).I

#### **5.1.4 Treidentifikasjon**

Jomfruer ble vanligvis laget av eik eller ask, men bøk forekommer også. Se kapitel 4.1.1. Det var derfor ønskelig å identifisere hvilke treart jomfruene er laget av for å plassere jomfruene i en teknologisk kontekst. Ved identifisering av tre er det vanlig å ta prøver fra de ulike snittene, siden de tre snittene viser både det aksiale og radiale systemet fra ulike perspektiver slik at samme egenskaper og karakteristikker kan observeres fra ulike vinkler (Hather 2000:5). Tverrsnittet er skåret vinkelrett på stammens lengderetning, radialsnittet er lengdesnitt parallelt med margstrålen, og tangentialsnittet er skåret vinkelrett på margstrålene (Jørgensen 1989:21).

For sikker identifisering bør prøver tas fra hvert av snittene, men det ble valgt å ta bare en prøve fra jomfruenes tverrsnitt ut i fra etiske hensyn (vedlegg 3, figur 40). Identifiseringen ble utført ved å se på tverrsnittet i lysmikroskopet Leica DMLM med transmittert lys. Prøveuttak og montering ble utført som beskrevet i Hather (2000:16-17), hvor et dobbeltsidig barberblad benyttes til å ta et tynt snitt som monteres på objektglass med en dråpe 70% glyserol og dekkglass over. Til identifikasjon ble snittet fra jomfruen sammenlignet med konserveringsstudiets referansesamling og bilder fra Hather (2000).

#### **Resultat**

Jomfruene er tydelig ringporet, (vedlegg 3, figur 41-43) siden vårveden har mye større porer enn sommerveden (Hather 2000:46, Jørgensen 1989:36). Forskjellen mellom vedrørene i sommer og vårveden kan også observeres med det blotte øyet. På grunn av at jomfruene er tydelig ringporet kan bøk (*Fagus sylvatica*) utelukkes siden arten er diffusporøs. Jomfruene kan dermed være ask, eik eller alm. I alm (*Ulmus glabra*) har vedrørene i sommerveden en

form som bølgete bånd som går i tangential retning (Jørgensen 1989:36, Hather 2000:68), og i eik (*Quercus robur*) danner vedrørene i sommerveden felter som strekker seg i radial retning. Vedrørene i sommerveden danner en til tre irregulære rekker, med de største vedrørene nær begynnelsen av årringen (Jørgensen 1989:33, Hather 2000:48). I ask (*Fraxinus excelsior*) er sommervedens porer spredt i små klynger, og vårvedrørene er store og i korte radiale rekker (Jørgensen 1989:36, Hather 2000:58).

Vedrørene i sommerveden er ikke så tydelig i snittet tatt av jomfruene, men det kan ikke observeres vedrør i bølgete bånd i tangential retning, noe som utelukker alm. Ut i fra snittet som ble tatt er det vanskelig å konkludere med om det er ask eller eik, men det kan ikke observeres at sommervedens porer er spredt i små klynger, men vårvedrørene er store og i korte radiale rekker. Siden vedrørene er tette, trolig på grunn av leire er det ikke mulig å si om det er tyller tilstede som er karakteristisk for eik (Hather 2000:48). Ut i fra sammenligning med referansesamlingen er snittet fra jomfruene mest lik ask, og konklusjonen er derfor at treverket trolig er ask. Identifiseringen bekreftet dermed det litteraturen sier om at jomfruer i hovedsak ble laget av ask eller eik, se kapittel 4.1.1.

### **5.1.5 Fiberidentifikasjon**

Etter samtale med Egenberg og Undrum (2011:pers.komm.), samt litteraturstudier er det antatt at tauverket trolig består av lindebast eller hamp, se kapittel 4.2.1. Det var derfor ønskelig å bestemme hvilke fiber tauverket består av.

Identifisering ble gjort ved å se på fibrenes lengdesnitt i lysmikroskopet Leica DMLM med transmittert lys, krysspolarisering og fasekontrast. Det ble tatt fiberprøver av taukveilen, tauet rund hulkilen og tauet som forbinder jomfruene (vedlegg 3, figur 44-46). Lengdesnittene ble montert på hvert sitt objektglass i en dråpe 70% glyserol med dekkglass over (Greaves og Saville 1995:7, Barnett 2004:14). Til identifikasjonen ble fibre sammenlignet med referanseprøver av nye fiber fra hampeplante og nye bastfiber fra lindetre, samt bilder fra Fiber Reference Image Library (FRIL). Da jomfruenes tauverket var veldig nedbrutt, og det viste seg vanskelig å få ut hele fiber var det derfor ikke mulig å lage tverrsnitt.

## Resultat

Hovedkarakteristikken til lindebast er parenkymceller (Schjølberg 1988:108) som har en sfærisk form (FRIL), og hamp har et stråliggende utseende med tverrmerker over fibre (FRIL), tydelig lumen og tykke cellevegger (Florian 1990a:49).

Taukveilen og tauet i hulkilen rundt øvre jomfru er trolig lindebast siden parenkymcellene er tydelig i fiberbunten. Tauet som forbinder jomfruene er vanskeligere å fastslå identifikasjonen (vedlegg 3, tabell 5). Fiberprøvene ble imidlertid sent til Ellen Schjølberg som identifiserte alle tre fiberprøvene fra tauverket til lindebast (pers.komm. videreformidlet av Egenberg).

### **5.1.6 Identifikasjon av tjære**

Tjære er et sammensatt materiale med mange komponenter som ligner på hverandre (Egenberg 2011:pers.komm), men kjemisk sett ligner tjære harpiks i rå tilstand. De fysiske og kjemiske egenskapene til tjære varierer i takt med økende temperatur i milen i løpet av brenningen. Tjæren tappes på tønner etter hvert som den brennes og det vil derfor være forskjell mellom tønnene (Egenberg 2006:117). Furutjære inneholder blant annet syrer, fenoler, ester, terpen og harpiks (Font m. fl. 2007).

Basert på litteraturgjennomgang er det antatt at jomfruenes tauverk er tjæret. Det er derfor ønskelig ved hjelp av Fourier transform infrarød spektroskopi (FTIR) som metode å bekrefte eller avkrefte om tauet er tjæret. FTIR er en semi-destruktiv metode som er basert på vibrasjoner av atomene i et molekyl. De ulike bindingene har forskjellig energi og hver vibrasjon har dermed også ulike energier. Vibrasjoner kan innbære endringer i bindingslengden eller bindingsvinkelen. Et infrarødt spekter oppnås vanligvis ved å sende infrarød stråling gjennom prøven hvor signalene fra den absorberte energien er prosessert gjennom en matematisk funksjon (Stuart 2008:110-111, Derrick m. fl. 1999:7-9). FTIR egner seg imidlertid ikke til å identifisere tjære kvalitativt og spesifikt, men metoden kan indikere tilstedeværelsen av tjære.

FTIR analysen ble utført med Perkin Elmer Spectrum ONE FTIR-ATR instrument, med diamant/ZnSe krystall og  $4\text{ cm}^{-1}$  oppløsning. Transmittans ble målt i bølgetallenes verdiområde  $4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ , og hver prøve ble skannet 32 ganger.

Det ble tatt tre prøveuttak av fiber som inneholder rester etter det som kan være tjære: en fra taukveilen, en fra tauet i hulkilen og en fra tauet som forbinder jomfruene. Prøvene ble tatt fra samme området som ved fiberidentifikasjon (vedlegg 3, figur 44-46). Løsemiddel ble ikke benyttet til å separere tjærestene fra fiberprøvene, men leire ble renset av fibre mekanisk med skalpell under arbeidsmikroskop siden det kan forstyrre spektrene (Derrick m. fl. 1999:23). Prøvematerialet ble sammenlignet med spekter fra fersk lindebast og fersk tyritjære fra Dovre.

Spektrene ble tolket ved å se på sammenfallende bånd mellom spekteret fra fersk tjære og spektrene av fiberprøvene. Tjære er et sammensatt materiale med mange komponenter, men det ble likevel forsøk å gjenkjenne karakteristiske topper for tretjære (tabell 2). Tretjære inneholder mange C-H bindinger, karbonylgrupper og aromatisksegrupper som vil være viktig for identifisering.

Tabell 2. Karakteristiske bølgetall for tretjære (Font m. fl. 2007:126).

<b>Funksjonelle grupper</b>	<b>Bølgetall (cm<sup>-1</sup>)</b>
Strekkende O-H bånd fra alkoholgrupper	~ 3430
Strekkende vibrering av karbonyl i metylester	1735-1745
Andre karbonylbånd som kan være tilstede	1710-1727, 1694-1700
Karakteristiske signal fra aromatiske grupper	~1605, ~888, ~822

## Resultat

Se vedlegg 3, graf 1 for oversikt over spektrene. Rundt 1740 cm<sup>-1</sup> er det et utslag som er karakteristisk for metylester i hemicellulose. Det kan observeres i tjærespekteret, men skulderen er ikke så sterk som i spekteret for bastreferansen. Sammenlignes høyden på skuldrene fra bastreferanse med eksempelvis spektret for taukveilen, er skulderen litt lavere i taukveilen, som er en indikasjon på at hemicellulosen er mer nedbrutt enn det i den ferske bastprøven. Dette er forventet, ettersom hemicellulosen som er ikke-krystallinske karbohydrater som lettere gjennomgår nedbrytning i den arkeologiske konteksten. Siden metylester hydrolyseres lett til frie syrer (Font m. fl. 2007:120), gir det imidlertid ikke nødvendigvis utslag i spektrene.

Det er et bredt bånd rundt  $3400\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$  som kan være O-H strekk i en alkoholgruppe, men det kan også være vann som gir utslag (Derrick m. fl. 1999:93). Det er et kraftig bånd i tjærereferansen rundt  $1694\text{ cm}^{-1}$ , og et utslag på tauet som forbinder jomfruene rundt  $1692\text{ cm}^{-1}$  som kan indikere andre karbonylbånd. Rundt  $1515\text{ cm}^{-1}$  er det utslag både på tjærereferansen og taukveilen som er trolig er aromatiske vibrasjoner (Schwanninger m. fl. 2004:6). Økningen i styrken av dette båndet kan også skyldes det faktum at signalene fra lignin fra bast er mer dominerende, ettersom karbohydratdelen sannsynligvis er mer nedbrutt. Signalet er dermed tvetydig, siden det ikke kan fastslås om det er signaler fra tjære på tauet eller fra den underliggende basten. Det kan observeres et bånd omkring  $1269\text{ cm}^{-1}$  i tjærereferansen som gir utslag på grunn av lignin treet og karbonylstrekk (Schwanninger m. fl. 2004:6).

Det observeres sterke til middels sterke bånd mellom  $700\text{ cm}^{-1}$  og like under  $1000\text{ cm}^{-1}$  på grunn av C=C-H grupper i alkener. Fra  $800\text{ cm}^{-1} - 900\text{ cm}^{-1}$  er det svake bånd på grunn av aromatiske C-H vibreringer. Reten er et aromatisk hydrokarbon og er en stabilere forbindelse enn ester, og ikke like utsatt for nedbrytning (Font m. fl. 2007:120), og kan dermed gi sterkere utslag i spektrene. Bånd som er karakteristiske for reten kan observeres rundt  $796\text{ cm}^{-1}$  og  $798\text{ cm}^{-1}$  på alle fiberprøvene. Andre karakteristiske bånd for aromatiske grupper som kan observeres er  $885\text{ cm}^{-1}$  i spektrene til tauet som forbinder jomfruene, taukveilen og tjærereferanse. Spektrene viser dermed sammenfallende bånd mellom fiberprøvene og tjærereferansen hvor de samme båndene er svakere eller fraværende i bastreferansen.

Det observeres dermed flest sammenfallende topper i fingeravtrykkområdet hvor de aromatiske gruppene gir utslag i alle spektrene bortsett fra referanseprøven på lindebast. Det indikerer at tauet som forbinder jomfruene og taukveilen kan være tjærebredd. Det kan ikke observeres like mange karakteristiske bånd i spekteret på tauet i hulkilen, så det er vanskeligere å fastslå. Det betyr imidlertid ikke at det ikke at tauet har vært tjærebredd. De kjemiske egenskapene kan varieres innenfor samme brenning og tjæren på fibre kan være så nedbrutt at det vanskelig oppstår signal eller det kan være slitasje fra bruk.

## 5.2 Jern

Jern er i motsetning til tre og tau et uorganisk materiale, og dermed kjemisk og strukturelt veldig forskjellig fra organiske materialer. Jern er et krystallinsk materiale hvor atomene er

arrangert i et regulær tredimensjonalt mønster, som gir jern og metaller duktilitet og hardhet (Barker 2006:128). Jern fremstilles fra malmer som inneholder jernmineraler hvor jernmalm reduseres til jern ved varme. Den kjemiske reaksjonen som er involvert i reduksjonen av jern er kompleks, men generelt benyttes karbonholdig brensel i reduksjonen. Smijern er nesten rent jern, og inneholder mindre enn 0,1 % karbon, men det inneholder imidlertid slagg som gir smijern den fiberaktige strukturen (Selwyn 2004:90-91).

### **5.3 Påvisning av jern**

Korrosjonen på jomfruene samt illustrasjoner og litteratur om tilvirkning av jomfruer indikerer at det kan være jernbeslag rundt den nedre jomfruens hulkile. Tilstedeværelsen av jern vil påvirke både rense og stabiliseringsprosessen i stor grad og det var derfor ønskelig å undersøke hvorvidt det faktisk var jern tilstede, og om det var en del av gjenstanden. På bakgrunn av at røntgen og XRF egner seg godt til metaller og at det ikke krever prøveuttak ble det besluttet å benytte røntgen og XRF som metode for påvisning av jern før noen form for behandling ble utført.

#### **5.3.1 Røntgen**

Røntgenfotografering er en ikke-inngripende metode hvor røntgenstrålene absorberes eller trenger gjennom materialet avhengig av materialets tetthet, og det dannes dermed et skyggebilde i ulike gråtoner. Røntgen kan gi informasjon om metallens form under korrosjon og jordlag, samt indikere hvor grenseflaten mellom metallens originale overflate og korrosjonen er (Selwyn 2004:14, Shearman og Dove 2005:155) noe som er viktig å kartlegge for å unngå å skade metallet i renseprosessen. Er det jern rundt hulkilen vil det fremtre som lysere enn korrosjonen på røntgenbildene (Stuart 2008:79, Lang m. fl. 2005:21).

#### **Resultat**

Røntgenbildene (vedlegg 3, figur 49-51) avdekket korrosjon rundt hele nedre jomfruens hulkile. Det er imidlertid vanskelig å fastslå om det er jern under korrosjonen, men det er antydning til en hvitere tynn kant innerst mot hulkilen som kan være jern. Det er derfor viktig å være forsiktig under rensing slik at eventuelt jernets overflate ikke blir eksponert eller at jernet ikke blir renses bort. Korrosjonen er tett og jevn rundt hele jomfruen, og det er ikke indikasjoner på at det er tauverk i korrosjonen. Røntgenbildene bekrefter at tauet går rundt



øvre jomfru, men at korrosjonen har impregnert tauet mellom jomfruene. For å utelukke at det var gjenstander i leiren som jomfruene lå på ved ankomst til konserveringslaboratoriet ble leiren også røntgenfotografert (vedlegg 3, figur 51).

Røntgen gir indikasjon på hvilke elementer materialet består av, men det kan imidlertid ikke identifisere den kjemiske sammensetningen. Siden litteraturen antyder at jomfruene kan ha jernbeslag, og røntgenfotograferingen bekreftet at det var korrosjon eller metall tilstede ble det utført XRF målinger for å bekrefte om korrosjonen og metallet var jern. Metoden sier imidlertid ikke noe om korrosjonen er fra gjenstanden eller det omkringliggende miljøet.

### 5.3.2 Røntgenfluorescens

Røntgenfluorescens (XRF) måler grunnstoffenes sammensetninger i et materiale uten prøveuttak. Røntgenstråler sparker ut ett elektroner fra det innerste skallet og atomet forsøker å gjenoppnå stabil tilstand ved at det ytterste skallet overfører elektroner til det innerste. I denne prosessen oppstår røntgenfluorescens stråler. Siden hvert element innehar unik energi oppstår karakteristiske spekter (Stuart 2008:234, Artioli 2010:34). Et XRF instrumentet kan måle grunnstoffene fra atomnummer 12 og oppover, og metoden er derfor best egnet for mineraler og metaller (Bjerklund). Målingen er også begrenset til gjenstandens overflate, noe som fører til at resultat ikke er representativt for det underliggende metallet (Selwyn 2004:15, Chiari 2010:119).

Det ble tatt fem målinger av korrosjonen i hulkilen rundt nedre jomfru for å få et mest mulig representativ resultat (vedlegg 3, figur 46 og 47), med en håndholdt Niton XL3t. Etter at korrosjonen var rensset ble det utført to nye målinger av det avdekkede metallet (vedlegg 3, figur 48) med Niton XL3t GOLDD+. Alle målingene ble utført med innstillingene *general metals, main range* i 60 sekunder uten *helium flush*.

### Resultat

Både spektrene fra målingen utført på korrosjonen og det avdekkede metallet gir tydelig utslag for jern, (vedlegg 3, graf 2 og 3), noe som bekrefter at det er jern rundt nedre jomfruens hulkile.

### 5.3.3 Sveip-elektronmikroskop - Energi-dispersiv røntgen spektroskop

Sveip-elektronmikroskop (SEM) er en destruktiv metode hvor et bilde av prøvens overflate dannes ved å sende ut en stråle med elektroner. Prøvens overflate kan studeres ved at den forstørres opptil 100 000 ganger, samtidig som at et detaljert tredimensjonalt sort-hvitt bilde produseres. SEM kan kombineres med energi-dispersiv røntgen spektroskop (EDS) for å kartlegge distribusjonen av grunnstoffene i prøven (Stuart 2008:91-92, Artioli 2010:66-68, Charola og Koestler 2006:20-21).

SEM-EDS ble benyttet som en tilleggsmetode før noen form for behandling ble utført for identifikasjon av jern og dets distribusjon. Det ble tatt to prøver av treverkets overflate på nedre jomfru der korrosjonen går rundt hele hulkilen, og hvor litteraturen sier det skal være jern, samt to prøver av øvre jomfruens overflate hvor det ikke er korrosjon (vedlegg 3, figur 44). En referanseprøve i eik fra samme funnkontekst uten korrosjon ble benyttet som sammenligningsgrunnlag.

Det ble samtidig undersøkt for andre uorganiske elementer siden jomfruene trolig er forurenset med klorider og sulfater, men på grunn av oppgavens tidsramme og samtaler med museet ble det avgjort å ikke fjerne eventuelle forurensinger. Det er imidlertid viktig å undersøke hva som finnes av forurensinger i jomfruene for å være oppmerksom på hvilke problemer som kan oppstå på lengre sikt.

#### Resultat

Resultatet viser at det kvantitativt er mer jern i de to prøvene fra jomfruen med korrosjon, enn i jomfruen uten korrosjon (vedlegg 3, figur 52-56). Det er imidlertid naturlig at det også er litt jern i øvre jomfru som ikke har korrosjon siden jernioner fra nedre jomfru vil emigrere. Ut i fra resultatet ble det derfor antatt at korrosjonen stammer fra gjenstanden, og at det var sannsynlig å finne jern under korrosjonen. Resultatet viser også mindre forekomster av klorider og svovel. Siden prøvene er tatt fra jomfruenes overflate er ikke resultatet representativt for treverkets innside. Klorider har blitt vasket bort fra jomfruenes overflate etter hvert som de ble sprayet med vann. Tilstedeværelse av svovel, samt det vanntrukne arkeologiske miljøet og den karakteristiske gule korrosjonen (vedlegg 4, figur 59) som av tidligere erfaringer og analyser trolig dannes av sulfatreduserende bakterier gjør at det kan antas at det er svovel og sulfatreduserende bakterier tilstede i jomfruene.

## 5.4 Avsluttende oppsummering

Det var ønskelig å identifisere materialene jomfruene bestod av ut i fra en teknologisk kontekst, og det var i tillegg viktig å få klarlagt om det er jern tilstede i hulkilen. Resultatene viser at treverket trolig er ask, og tauet består av lindebast, noe som stemmer overens med litteraturen om tilvirkning av jomfruer og tau. FTIR resultatene indikerer at tauverket kan være tjærebredd, som vil påvirke valg av behandling siden det utelukker behandlinger med aceton som kan løse opp tjære.

Røntgen, XRF, SEM-EDS og rensingen av korrosjonen avdekket jern i hulkilen.

Tilstedeværelsen av jern påvirker valg av behandling, samtidig som det vil påvirke den langsiktige bevaringen av jomfruene. I tidligere konserveringsbehandlinger hvor jern ikke er fjernet er resultatet lite tilfredsstillende siden tilstedeværelsen av jern fører til dannelse av svovelsyre. Se kapittel 6.1 Generelle nedbrytningsprosesser. Ved å fjerne jernet og jernmineraler påvirker det både utseende og stabiliteten på lang sikt. Det kan imidlertid oppstå problemer ved fjerning av jernmineraler siden det oppfører seg som svellende materialer og fjerning kan dermed føre til krymping (Godfrey m. fl. 2001:440). I tillegg hadde korrosjon impregnert tauverket, og det ville vært umulig å fjerne korrosjonen uten at tauverket hadde gått i oppløsning. Jernet var i tillegg veldig sprøtt (se kapittel 6.2 Tilstandsbeskrivelse) og det ville trolig vært vanskelig å separere jernet fra treverket uten at det gikk i oppløsning. Siden jern er en del av gjenstanden som et historisk dokument og en samlet gjenstand viser bedre hvilken funksjon jomfruene hadde som en del av riggesystemet på BC02, ble det derfor besluttet å beholde jernet.

## 6 Tilstand og nedbrytning

Jomfruene har siden utgravingen i 2008/2009 vært oppbevart mørkt og kaldt på museets kjølemagasin. I påvente av og under konserveringsbehandling har jomfruene blitt oppbevart mørkt og kjølig på konserveringslaboratoriet. Da det ble valgt å ikke legge jomfruene i vann, siden det kan være fare for at tauverket går i oppløsning ble destillert vann sprayet på jomfruene regelmessig for å holde de fuktige. For å forstå jomfruenes tilstand og hvordan det vanntrukne miljøet har påvirket materialene, er det viktig med kunnskap om nedbrytningsprosesser og jomfruenes tilstand. Kapitlet vil derfor først gjennomgå de viktigste nedbrytningsfaktorene i vanntrukne arkeologiske miljøer før jomfruenes tilstand beskrives.

### 6.1 Generelle nedbrytningsprosesser

Organisk materiale utsettes for fysisk, kjemisk, mekanisk og biologisk nedbrytning. De fire nedbrytningsprosessene opptrer imidlertid ikke hver for seg, men de påvirker hverandre og bryter ned materialet og dets struktur samtidig. Fysiske prosesser innebærer nedbrytning av egenskaper gjennom blant annet jordens tyngde, frostsprengning og stress forårsaket av svelling og krymping. Kjemisk nedbrytning innebærer kjemiske reaksjoner med forbindelser i materialet, i hovedsak hydrolyse og oksidasjon. Mekaniske prosesser resulterer i sprekkdannelse, slitasje, deformasjoner, tilsmussing og flekker. Biologisk nedbrytning karakteriseres som angrep fra mugg, bakterier og insekter som resulterer i tap og svekkelse av det originale materialet, samt flekkdannelse (Kronkright 1990:145). Det finnes imidlertid også bevarende faktorer som lave temperaturer, ekstrem tørke og vanntrukne miljøer. I vanntrukne miljøer er lavt oksygennivå hovedfaktoren til bevaring, siden fraværet av oksygen fører til at biologisk nedbrytning i form av aerobiske bakterier opphører. Anaerobiske bakterier vil imidlertid overleve og de vil sakte bryte ned organisk materiale. Selv om lavt oksygen nivå i vanntrukne miljøer er en bevarende faktor, fører tilstedeværelsen av vann på den andre siden til kjemisk nedbrytning i form av løselige salter og hydrolyse. Hydrolyse fører til at polymerene brytes ned til mindre enheter som til slutt brytes ned til monomere. Mindre enheter og monomere utsettes for raskere nedbrytning enn polymerene. Selv om hydrolysen svekker materialet vil gjenstandens form beholdes siden vannet fyller cellene og hulrommene. Vannet støtter dermed fibersystemet strukturelt som fører til at materialets form og dimensjon bevares (Peacock 1992:198, Cronyn 2004, Smith 2003:22). En vanntrukket gjenstand vil dermed beholde sin form og kollaps hindres så lenge den holdes våt.

Kloridioner ( $\text{Cl}^-$ ) er skadelig både for organisk og uorganisk materiale, men er særlig ansvarlig for jerngjenstanders ustabilitet. De er ofte tilstede i arkeologiske gjenstander og alltid i maritime gjenstander (Viviesca m. fl. 2007). Sulfatreduserende bakterier fører også til at korrosjon kan oppstå i fravær av oksygen (Florian 1987:16). Korrosjonsproduktene som dannes kan være mange, men de består i hovedsak av magnetitt og goethitt hvor det ytterste korrosjonslaget består av goethitt og jordsedimenter, og under befinner magnetitt laget seg. Grensesnittet mellom goethitt og magnetittlaget er der hvor metalllets originale overflate ligger. Etter hvert som magnetitt laget vokser innover og goethitt laget vokser utover blir metallkjernen mindre (Knight 1990:38-39).

Salter absorberes passivt av gjenstanden, mens jern(III)ioner imidlertid binder seg aktivt til cellulose, og over tid kan det bygge seg opp høye konsentrasjoner. Under anaerobiske miljø omdannes jernsalter og sulfater til sulfider på grunn av sulfatreduserende bakterier. En fysisk konsekvens av ionenes tilstedeværelse er at treverkets mikrostruktur blokkeres, noe som fører til at treet blir ugjennomtrengelig for kjemiske behandlinger. Jernsulfid er ustabilt i aerobiske miljøer, og oksidasjon kan ødelegge materialet. Høye konsentrasjoner av jernsalter i tørt arkeologisk tre kan resultere i strukturelle skader og sulfatkrystaller kan dannes på treet overflate, som kan føre til avflaking (McConnachie og Jones 2003:63). Hovedproblemet er imidlertid ikke sulfatsaltene siden de i hovedsak krystalliserer seg på overflaten.

Tilstedeværelse av svovelsyre er mer problematisk siden cellulosekjedene hydrolyseres, som fører til redusert styrke. Svovelsyren bør derfor fjernes for å bevare utseende og gjenstandens styrke (McConnachie og Jones 2003:63, Jones m. fl. 2009). Siden saltene er løselige vil de absorbere fuktighet etter at gjenstanden er tørket (Smith 2003:23). Eksempelvis i Vasaskipet er jernsulfatsalter et kjent problem. Svovel stammer fra det forurensede vannet i Stockholms havn i form av sulfater, og jern er tilstede i skipet i form av korrosjonsproduktene fra 5500 originale jernbolter som holder skipet sammen. Jern er en katalysator i museumsmiljøet som reagerer med oksygen og fuktighet, og det dannes dermed svovelsyre som felles ut på treet overflate i form av jernsulfatsalter (Hocker m. fl. 2009, Almkvist og Persson 2009).

Det er imidlertid ikke bare nedbrytning i det arkeologiske miljøet som påvirker materialene, men også naturlig nedbrytning og slitasje forårsaket av bruk. Vann er den vanligste årsaken til at organisk materiale råtner, og salt fra havet som har impregnert tauet vil trekke til seg fuktighet som igjen får sopp og bakterier til å trives. Ubehandlet naturfibertau kan dermed råtne på under et år. En høy saltkonsentrasjon kan på den andre siden være en fordel teoretisk

sett, da dette gir dårlige levevilkår for de fleste mikroorganismer. Ultrafiolett stråling (UV) fra solen bryter opp molekyllbindingene, som igjen fører til et svakere materiale. Tau slites fort i stykker av sand og smusspartikler mellom kordelene siden det øker friksjonen. I tillegg oppstår det friksjon mot andre gjenstander, for eksempel jomfruene. Er tauet tjærebredd vil det bremse nedbrytingen (Hertzberg).

## 6.2 Tilstandsbeskrivelse

Både treverket og tauet som jomfruene består av har vært i den samme arkeologiske konteksten, og materialene er kjemisk veldig like. Treverket og tauet er likevel ikke ensartet nedbrutt. Hovedårsaken er at tre er bygget opp av polymerer som gir en tettere struktur enn tau. Tau er i tillegg laget av bearbeidet fiber, og de beskyttende forbindelsene som lignin og pektin fjernes under bearbeiding. Prosessen med bearbeidelse fører også til mekanisk slitasje på fibrene som gjør at de er mer utsatt for nedbrytning (Broavac 2011: pers. komm.). Kombinasjonen av at tauverket har løsere struktur, samt at fibrene er bearbeidet fører til at tauet er mer nedbrutt enn treverket.

Som nevnt i kapittel 2.2.3 finnes det flere metoder for å karakterisere treverkets tilstand. På grunn av at metodene krever større prøveuttak ble tilstand derfor vurdert visuelt. Ved ankomst til konserveringslaboratoriet lå jomfruene på et lag med leire, og et hvitt fløyelsaktig lag som ble tolket som muggforekomster dekket leiren, jomfruene og taukveilens overflate (vedlegg 4, figur 57). Se kapittel 6.2.1 for påvisning av mugg. Leire og korrosjon hadde impregnert både treet og tauverket, og særlig hadde korrosjonen impregnert tauet rundt hulkilen mellom de to jomfruene, noe også røntgenbildet tydelig viste (vedlegg 3 figur 49 – 50 og vedlegg 4, figur 6). I noen områder på treverkets overflate hadde leiren forsteinet.

Det midtre og venstre tauet som forbinder jomfruene hadde revnet, mens det høyre tauet fortsatt var inntakt og forbandt de to jomfruene sammen (figur 18). Ett av målene var å rense og stabilisere jomfruene uten at det siste tauet revnet, men selv om det ble utvist forsiktighet under håndtering og rensing røk tauet under oppbevaring før jomfruene ble forsøkt snudd (figur 19). Jomfruenes baksider ble studert før noen form for behandling ble utført ved å holde jomfruene over et speil. I speilet ble det da observert at tauene som gikk igjennom hullene og på baksiden også hadde revnet (figur 20). Tauet som holder jomfruene sammen var sammenklemt og hadde mistet sin form.



Figur 18. Skader på fremsiden. Midtre og venstre tau som forbinder jomfruene hadde revnet. Det høyre var fortsatt inntakt. Ser også tydelig jernflekker på nedre jomfru, og hakket i treverket ved øvre jomfruens hake.



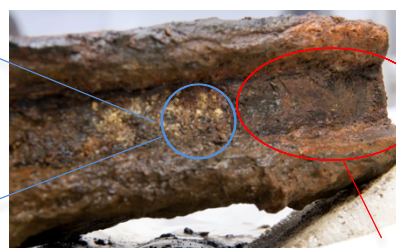
Figur 19. Illustrasjon av skader. Avflaking av treverket. Høyre tau revnet under oppbevaring.



Figur 20. Tauene på baksiden hadde revnet.



Figur 21. Jern avdekket under rensing, og et jernfragment falt av.



Avdekket jern

Ut fra de visuelle observasjonene er treverket i god tilstand, men på nedre jomfru flaker det av små trefragmenter i overflaten (figur 19) som trolig kan være et resultat av jernsalter fra jernet i hulkilen, se kapittel 6.1 Generelle nedbrytingsprosesser. I hulkilen rundt nedre jomfru er det som tidligere nevnt korrosjon (vedlegg 4, figur 58 og 59), og under rensing ble det avdekket jern. Jernet er ikke sammenhengende rundt hulkilen, trolig har mye av jernbeslaget korrodert bort. Under renseprosessen falt det dessverre av et lite jernfragment fra hulkilen. Det viste seg at jernet var veldig sprøtt, da det smuldret opp i fingrene like etter at fragmentet ble dokumentert (figur 21). Røntgenfotografiene og rensing bekreftet at det ikke var tauverk i korrosjonen.

Treets overflate er mørkebrunt, med noen partier med oransje flekker som trolig stammer fra jernet, og lysgule partier som trolig stammer fra salt og sulfatreduserende bakterier. Det er et hakk på fremsiden av øvre jomfru ved den rette haken (figur 18), og det er også spor etter

slitasjemerke på kanten av hullet hvor tauet revnet. Tauet i hulkilens høyre side er løs, og kordelene har ingen kohesjon med hverandre (vedlegg 4, figur 61). Tauet på venstre side er fast i hulkilen, og kordelene sitter sammen så det fortsatt ser ut som et massivt tau.

Taukveilen er gjennomtrukket av leire og jernioner (vedlegg 3, figur 50) noe som trolig er grunnen til at taukveilen er forsteinet. Tauet som henger løst ut i fra taukveilen er imidlertid bløt og skjør.

### **6.2.1 Påvisning av mugg**

Deler av leiren, jomfruene og taukveilens overflate var dekket av et hvitt fløyelsaktig lag som ble tolket som muggforekomster (vedlegg 4, figur 57.) Jomfruene ble før og under rensing oppbevart i kjøleskap for å hindre muggsoppen i å vokse, men siden jomfruene var fuktige er ikke lave temperaturer nok til å hindre vekst av muggsopp. Ved lave temperaturer får også materialer høyere fuktinnhold enn ved høyere temperaturer (Florian 2002:57). Selv om synlig muggsopp ble børstet av med vann og pensel, kom det derfor tilbake noen dager senere.

Som nevnt finnes det ulike arter av mugg, hvorav noen kan føre til tap av substans og reduksjon i styrke, mens andre i hovedsak er et estetisk problem. I tillegg er det fare for at muggsoppen kan blomstre opp i ulike impregneringsmidler (Nunez 2011:pers.komm.). Legges jomfruene i impregnering må derfor løsningen overvåkes hvis ikke biocider tilsettes. Som et ledd i tilstandsbeskrivelse, samt behandlingen ble det derfor valgt å ta en prøve av muggforekomsten.

Muggsopp kan defineres som en stor, heterogen gruppe av ulike hurtigvoksende sopper, både på og i materialer. De kan produsere store mengder soppsporer, samt ulike flyktige organiske forbindelser som kan gi misfarging, lukt eller helseproblemer (Mattsson 2004:14). Det kreves enkelte grunnleggende faktorer tilstede for at muggsopp skal kunne etablere seg og vokse. Det vil si at muggsoppen har tilgang til riktig næring, vann og gunstig temperatur. Er disse tre forutsetningene til stede over tilstrekkelig tid kan muggsopp etablere seg og vokse (Mattsson 2004:6). I tillegg krever muggsopp nok O<sub>2</sub>, passe mengde CO<sub>2</sub>, sollys og en pH mellom 2 og 9 som stort sett alltid er tilstede og umulig å regulere (Schytz 2007:7).

De fleste muggsopper lever av dødt organisk materiale hvor de forsyner seg av cellulose og lett tilgjengelig sukkerarter (Mattsson 2004:6). Muggsopp trenger også uorganisk næring i form av fosfor, kalsium, kalium, svovel, magnesium, jern, kobber, sink (Unger m. fl.



2010:95). Mengden vann er også avgjørende for vekst av muggsopp. Er den relative fuktigheten (RF) over 85% er det risiko for vekst av muggsopp, og er den under 75 % RF er det ingen risiko for vekst. Normalt trenger muggsopp en temperatur på minst noen plussgrader for at det skal oppstå vekst, og aktiviteten øker opp mot 25-30°C. Blir det for kaldt stopper aktiviteten opp, men muggsoppen dør imidlertid ikke (Mattsson 2004:8-10).

For muggsopp er treverk det ideelle stedet hvor det kan etablere seg og vokse siden det har tilgjengelig både organiske og uorganiske forbindelser. Brunråte bryter i hovedsak ned cellulose og hemicellulose, mens hvitråte også kan bryte ned lignin. Overflatesopp fører imidlertid ikke til særlig tap av substans, siden de bryter ned løselig sukker og stivelse i cellelumen (Unger m. fl. 2010:95), men noen svertesopper kan produsere enzymer som bryter ned lignin (Nunez 2011:pers.komm.).

### Metode

Tapeavtrekk ble benyttet som metode siden det ikke krever prøveuttak, i tillegg opptrer muggsopp på gjenstander nesten utelukkende på overflaten, og derfor er det tilstrekkelig og mest hensiktsmessig å ta prøven fra overflaten (Mattson 2007:13).

Mycotape ble klistret mot overflaten hvor det var synlig muggforekomst og trukket av igjen. Prøven ble sendt inn til Mycoteam hvor den ble analysert direkte i mikroskop (Mattsson 2004:49, 2007:14). Det ble tatt ett tapeavtrekk på taukveilen, siden det på det tidspunktet var mest synlig muggforekomst og det var lettest tilgjengelig (vedlegg 4, figur 57).

### Resultat

Resultatet av prøven bekreftet forekomst av to arter svertesopp på taukveilen: *Phialophora olivacea* og *Exophiala* sp. (vedlegg 5). Svertesopp er en samlebetegnelse for en gruppe mikrosopp med mørkfargede hyfer som gir en misfarging av angrepet trevirke og malte overflater. *Phialophora* vokser i tempererte strøk på blant annet tre og jord. Soppen krever høy fuktkvote for å vokse, og er ofte funnet på svært vått treverk. Soppen trives ved temperatur rundt 20-25°C, men kan vokse ved lavere temperaturer. *Exophiala* er en vanlig soppgruppe som vokser i jord og råtnende treverk.

## 7 Teori – aktuelle konserveringsbehandlinger

Jomfruene er en vanntrukket arkeologisk gjenstand bestående av organiske materialer i form av treverk og cellulosebasert fiber. I tillegg bekreftet litteraturgjennomgang om tilvirkning av jomfruer, analyser og rensingen at det var jern tilstede i hulkilen og at jernet er en del av gjenstanden. Selv om treet og tauverket er kjemiske like, er det på den andre siden mekaniske motsetninger siden tre har en tettere og fastere struktur enn tau. Tre krever stabilisering for å unngå krymping og oppsprekking under tørking, mens tau i tillegg krever fleksibilitet, konsolidering av hvert enkelt fiber, samt klebrigheten mellom fibre som gir tauet dens samlende struktur (Godfrey og Smith 1990:93).

De cellulosebaserte materialene og jern er kjemisk og strukturelt svært forskjellig. De ulike materialene krever dermed ulik behandling og bør ideelt separeres slik at de kan gjennomgå tilpassede behandlinger. Siden det imidlertid er besluttet å ikke separere tre og tauverket samt beholde jernet, er målet å finne en behandling som stabiliserer det organiske materialet, og som ikke er skadelig for metallet.

Ut fra de visuelle undersøkelser er treverket i god tilstand, men det flaker av små fragmenter med tre særlig på nedre jomfruens overflate. Tauverket har en løsere struktur og er mer nedbrutt. Det er ønskelig å beholde tre og tauverkets dimensjoner som materialene har i vanntrukket tilstand. Den vanntrukne tilstanden representerer ikke nødvendigvis gjenstandens originale størrelse (Grattan 1982:124), men for å unngå kollaps av gjenstanden og hindre videre avflaking er det ønskelig å impregnere treverket. Er imidlertid årsaken til avflakingen jernsalter, er det en risiko for at skaden vil fortsette å utvikle etter at jomfruene er konserverte hvis ikke RF holdes stabil.

Siden tre og tauverket ikke kan separeres er derfor viktig å finne en forbehandling som ivaretar begge materialenes krav og kvaliteter, samtidig som det ikke skader jernet. Selv om utfordringen er å finne en forbehandling, er det viktig å vurdere og diskutere rensing og tørking siden det sammen med forbehandling er inngripende og irreversible metoder. Konserveringsbehandlingen av jomfruene er dermed en trestegsprosess hvor det først renses, deretter forbehandles og til slutt tørkes. Litteraturen beskriver mange ulike behandlingsmetoder, og hver enkelt kan ofte tilpasses gjenstandene med ulik konsentrasjon varighet, temperatur og ulik tørkemetode. Kapitlet vil dermed diskutere forskjellige aktuelle

metoder for rensing, forbehandlinger og tørking. Kost-nytte analyse vil bli benyttet som et ledd i å finne riktig forbehandling.

## **7.1 Rensemeter**

Rensing diskuteres sjeldent og tas ofte som en selvfølge. Det er imidlertid kanskje den mest inngripende og irreversible delen av konserveringsprosessen. Hvordan og hvor mye som renses er avhengig av ulike faktorer. Blant annet hvor skjør gjenstanden er og hvor mye jord som er tilstede. Som tidligere beskrevet i kapitel 5 og 6 var jomfruene dekket av mugg, leire og korrosjon og det var ønskelig å rense bort så mye som mulig for et mer estetisk tilfredsstillende resultat, samt å avdekke om det var jern i hulkilen.

Rensing av vanntrukket arkeologisk materiale utføres vått, som regel mekanisk med destillert vann eller springvann. For å rense av leire og jord er det vanlig å rense treverket under kranvann etterfulgt av immersjon i destillert vann som skiftes jevnlig. Rensing med vann er den mildeste metoden, og skal alltid testes først. For å oppnå større effekt kan vannet varmes opp til 60°C (Grattan og Clarke 1987:195). Leire som sitter fast på treverket kan skrapes eller skjæres forsiktig bort. Når den tykke avleiringen er fjernet kan selve overflaten renses med rennende vann og en myk børste eller pensel. Det er imidlertid viktig å være forsiktig slik at ikke treverkets overflate rives opp under børstingen (Andersen 1993:151). Treverk kan også renses kjemisk da det fører til et estetisk bedre utseende, impregneringsmidlet trenger lettere inn i strukturen og impregneringsmidlet brytes ikke like fort ned i gjenstanden ved eksempelvis å fjerne forurensinger som jernsalter (Andersen 1993:153). Innfor rensing av vanntrukne tekstiler benyttes ikke-ionisert detergent. Det er da viktig at gjenstanden skylles grundig etterpå, men det kan imidlertid være vanskelig å få skylt ut alt (Jenssen 1987:141). Det er generelt lettere å rense vanntrukne arkeologiske gjenstander før tørking siden det ikke er mulig å skylle en tørket overflate. I tillegg binder impregneringsmidlet jordpartiklene til materialets struktur, men gjenstanden kan børstes forsiktig etter tørking (Andersen 1993:152).

Korrosjonen i hulkilen er særlig uønsket siden det forstyrrer det estetiske uttrykket. I tillegg korroderer jern ujevnt noe som fører til at korrosjonslaget ikke er like beskyttende som for andre metaller. Ujevne korrosjonslag fører til at vanddamp og oksygen kan trenge inn og reagere med metallet under. Det er imidlertid viktig å beholde gjenstandens originale overflate for å bevare gjenstandens integritet og eventuelle verktøyspor. Det vil si at magnetittlaget ikke skal fjernes, og dermed skal ikke det skinnende metallet fremtre. Er det

tvil om hvor mye korrosjon som skal fjernes i forhold til hvor den originale overflaten er, er det mye tryggere å etterlate et tynt lag med korrosjon og sedimenter på gjenstanden (Hamilton 1999:47). Rensing av metall kan utføres mekanisk, kjemisk, med løsningsmidler eller elektrolytisk reduksjon (Schmuecker 2005:32).

## **7.2 Forbehandling**

Innfor konservering av vanntrukket organisk materiale finnes det ulike forbehandlingar hvor impregnering benyttes som et felles begrep for de ulike metodene. Det finnes imidlertid ulike behandlinger som tilfører materialet forskjellige egenskaper. Selv om impregnering i denne oppgaven vil bli benyttet som et overordnet begrep i forbindelse med forbehandling er det viktig å forstå forskjellen på de ulike behandlingene slik at riktig metode velges.

### **7.2.1 Impregnering og svelling**

Er strukturen i materialet så nedbrutt at gjenstanden ikke kan motstå vannets kapillære krefter under tørking må vannet i strukturens celler skiftes helt eller delvis ut med et fast stoff (Andersen 1993:56). Ved våtkonservering er det alltid snakk om at impregneringsmidlet skal inn i en struktur som er vanntrukket. I slike tilfeller hvor vann skal erstattes med et impregneringsmiddel kalles diffusjon. Ved en diffusjonsprosess skjer utskiftningen som følge av molekylenes egen bevegelse. Diffusjonshastigheten er avhengig av temperatur, molekylvekt, viskositet og konsentrasjonsforskjell (Andersen 1993:49-51, Horie 2010:189-190).

Impregnering som egen metode har som mål å fylle lumen, kapillærene i celleveggen og mikrokapillærene med et materiale som gir gjenstanden strukturell støtte og mekanisk styrke. Impregnering erstatter vannet i materialet slik at de kapillære spenningene som oppstår under tørking hindres. Stress som oppstår under tørking unngås og impregneringen hindrer dermed at cellene kollapser (Grattan og Clarke 1987:165). Fordelen med svellende materiale fremfor impregnering er at immersjonstiden er kortere siden bare celleveggene skal fylles. Svelling gjør materialet lett og gir en naturlig farge, men for veldig nedbrutte gjenstander hvor sekundær veggen kan være totalt ødelagt, er ikke metoden egnet siden det ikke er igjen noe å fylle (Grattan og Clarke 1987:166). Svellende materialer benyttes også til tekstilfiber siden det styrker svake celler og reduserer krymping under tørking (Peacock 1992:204).

Svellende materiale hindrer ikke bare krymping av celleveggen, men endrer også treets mekaniske egenskaper siden noen materialer styrker, mens andre svekker celleveggen (Barbour 1990:186). Behandlingen vil også redusere vannets damptrykk i mikropillærene, og vann holdes dermed tilbake i disse områdene som fører til at cellene sveller og gir støtte under tørking. Er det derimot lite cellulose igjen på grunn av nedbrytning vil ikke svellende materialer gi styrke og hindre kollaps (McConnachie og Jones 2003:61).

Svellende materialer kan deles inn i ikke-reaktive og reaktive behandlinger. Ikke-reaktive går inn i den molekylære strukturen i celleveggen, erstatter vannet og holder cellene i svellende tilstand. De reagerer med cellulose ved hjelp av hydrogen bindinger, og behandlingen reduserer stivheten i celleveggen. PEG og ulike sukker er eksempel på ikke reaktive behandlinger. Bindingen mellom det ikke-reaktive materialet og treet er svake og behandlingen er dermed i teorien reversibel. Reaktive behandlinger danner kovalente bindinger med celleveggen, og kan føre til at treverket sveller eller krymper. Varmeherdende harpiks er et eksempel på svellende reaktivt materiale som gir en stivere cellevegge, men er i motsetning til ikke-reaktiv behandling irreversibel (Barbour 1990:186). Metoden blir derfor sjelden benyttet innefor konservering, og den ble for eksempel ikke ansett som anvendelig til tregjenstander og tømmer fra Mary Rose (McConnachie og Jones 2003:61). Impregnering fyller dermed alle hulrommene i materialets struktur, mens svelling i hovedsak fyller opp celleveggen.

Innenfor våtkonservering av tekstiler og tau finnes det i tillegg en rekke ulike andre forbehandlinger, eksempelvis mykningsmiddel som gjør fibre myke og glatte ved å danne en fettete film på overflaten ved bruk av lanolin, sederolje eller bivoks. Fuktgivere er en metode som gir økt fuktighet siden det tilførte materialet er hygroskopisk. Både mykningsmidlene og fuktgiveren gjør at fibre og garnet kan gli over hverandre noe som reduserer stresset under tørking, samtidig som det gir fleksibilitet til det tørkede materialet. Konsolidering som metode binder fibre sammen for å hindre at fibre faller av og gir styrke til tekstilet. Konsolidering kan utføres både før og etter tørking (Peacock 1992:203-204).

Siden målet er å behandle jomfrue uten å separere materialene er det viktig å finne en metode som bevarer både treet og tauverket i tillegg til at det tas hensyn til at det er jern tilstede. Behandlingen må hindre kollaps, krymping, fikse strukturen til tauet og gi fleksibilitet. Siden jomfrue imidlertid er en kompositt gjenstand bestående av tre ulike

materialer som er forskjellig kjemisk og strukturelt vil det være vanskelig å oppfylle alle kravene, og et kompromiss mellom materialene må derfor legges til grunn ved valg av forbehandling.

### **7.3 Aktuelle forbehandlingsmetoder**

Det finnes veldig mange behandlingsmetoder særlig for vanntrukket arkeologisk tre, og det ligger utenfor oppgavens rammer å gå gjennom alle. Metodene som vil bli diskutert er derfor aktuelle forbehandlinger for kompositt gjenstander, men det vil særlig bli lagt vekt på impregneringsmetoder for tregjenstander siden jomfruene i hovedsak består av treverk. Det er viktig at riktig forbehandling velges ut i fra både den kjemiske og fysiske tilstanden til gjenstanden (Peacock 1992:205).

#### **7.3.1 Alun**

Alun ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) ble introdusert i 1859 og er en av de første impregneringsmetodene som ble benyttet til vanntrukket arkeologisk tre. Alun blir ikke lenger benyttet som impregnering, men er viktig i et historisk perspektiv siden metoden hadde til hensikt å stabiliserte treverket og hindret kollaps (Kutzke m. fl. 2011:132). Metoden gikk ut på at tregjenstander ble kokt i en mettet alunløsning i to timer, og etter at gjenstandene hadde tørket ble treet påført linfrø olje, skjellakk eller bivoks får å hindre treet i å respondere på fukt. Etter at gjenstandene igjen hadde tørket på nytt ble det påført en klar lakk. Etter hvert ble glyserol en del av alunmetoden, noe som imidlertid forverret behandlingen siden glyserolen er hygroskopisk og tar opp fuktighet førte det til at alun rekrystalliserte seg og volumendringer oppstod. Den gjentatte volumendringen førte til oppsprekking av treverket (Christensen 1970:14-20, Grattan og Clarke 1987:168, Andersen 1993:57). For omtrent 10 år siden ble det også oppdaget store skader på alun konserverte gjenstander i samlinger i Sverige, Danmark og Norge. Årsaken er trolig svovelsyre som oppstod av nedbrytning av alun under behandlingen (Kutzke m. fl. 2011:132). Alun i ulike variasjoner ble benyttet i Skandinavia i 100 år, blant annet ved Nationalmuseet i København hvor metoden ble forlatt i 1958 (Christensen 1970:14).

### 7.3.2 PEG

PEG ble introdusert i første halvdel av 1950 som et impregneringsmiddel for vanntrukket tre (Christensen 1970:33), og er den mest brukte impregneringsmetoden innefor konservering av arkeologisk vanntrukket tre i dag (Cronyn 2004:258). De ulike typene PEG deles opp og benevnes etter molekylvekt, og det finnes PEG 200 opp til PEG 6000. Hvorav PEG 200 – PEG 600 karakteriseres som lavmolekylær, mens PEG 1000 – PEG 6000 karakteriseres som høymolekylær. Den eneste forskjellen er molekylenes lengde, og PEG er derfor en ensartet stoffgruppe, men egenskapene endres med molekylvekten (Andersen 1993:40-42, Unger m. fl. 2010:405). Lavmolekylær PEG går inn i treets struktur og erstatter det hygroskopiske bunnede vannet i celleveggen og karakteriseres som svellende materiale, mens høymolekylær PEG gir strukturell støtte ved å fylle hulrommene og lumen i cellene, og karakteriseres som impregnering (Jensen og Schnell 2005:306, Jones m. fl. 2009:2177). PEG er en hygroskopisk forbindelse hvor lavmolekylær PEG er mer hygroskopisk enn høymolekylær (Andersen 1993:44). Resultatet til det stabiliserte treet avhenger av den originale tilstanden til det vanntrukne treet, type PEG benyttet og gjennomtrengingsevnen (Unger m. fl. 2010:420).

For å sikre riktig gjennomtrenging bør det første steget i impregneringen ha lav konsentrasjon, for deretter å heve konsentrasjonen gradvis. Bakdelen med å bruke en type PEG på tre som er ujevnt nedbrutt er at en uniform impregnering og stabilisering ikke er mulig. Hoffmann (1986) anbefaler derfor to-stepsprosessen. I første steg benyttes en lavmolekylær PEG i en 10-15 % konsentrasjon, etterfulgt av å heve konsentrasjonen i romtemperatur til 40-50 %. Det andre steget innebærer høymolekylær PEG i 40-50% konsentrasjon. Ved å heve temperaturen til 60°C økes konsentrasjonen sakte til 70 %. Det er forsøkt å forbedre PEG metoden med karbondioksid, og på denne måten begrenses behandlingen til bare en type PEG, samtidig som behandlingstiden kan reduseres (Unger m. fl. 2010:501). PEG benyttes også i forbehandling av tau, hvorav PEG 400 er den mest brukte i kombinasjon med blant annet etanol, ethulose 400 og glyserol (Jenssen 1987:151, Rodgers 2004:169, Godfrey og Smith 1990:96).

Gjennom de 30 siste årene er PEG blitt benyttet og akseptert som impregnering av vanntrukket arkeologisk tre, siden det er en kunstig voks som er antatt å være stabil. Grunnen er at det er enkelt å behandle vanntrukket tre med PEG siden det er delvis løselig i vann og det er få bakkdeler (Glastrup 1997:377). PEG løsninger er imidlertid utsatt for biologisk nedbrytning i romtemperatur og vil derfor koloniseres av alger og bakterier. Biocider bør

derfor tilsettes, men det fører igjen til problemer med destruering av løsningen (Unger m. fl. 2010:420-421). Høymolekylær PEG 1500-4000 er oftest benyttet på nedbrutt tre, men bakdelen er at gjenstanden ofte fremtrer som voksaktig og våt på grunn av reduksjonen i intensiteten av det internt reflekterte lyset fra cellene nær treets overflate. Ulik løsningsbaserte polymerer bør PEG behandlende gjenstander oppbevares i kontrollert klima for å hindre tap av PEG fra overflate cellene (McConnachie og Jones 2003:61). PEG reagerer med polysakkarider, polyfenoler, og vann og danner komplekse bindinger som hydrofobiske, men ubundet PEG i den åpne trestrukturen vil imidlertid forbli hydrofil. Fluktuerende temperatur og RF fører til intercellulære bevegelser av PEG i gjenstanden og dermed stresser de svake celleveggene, noe som kan føre til krymping og forvridning. PEG erstatter vannet i cellestrukturen, men impregneringen kan vanligvis ikke stabilisere og beskytte overflaten (Smith 2003:31).

Selv om impregnering, og særlig PEG er den mest utbredte metoden og den som oftest gir bra resultat er det i praksis er det vanskelig å oppnå at impregneringen trenger gjennom helt til treets kjerne. Celleveggen hvor impregneringen ikke har trengt inn vil fortsatt reagere på fluktuerende relativ fuktighet, mens cellene som er impregnert ikke reagerer på samme måte. Det vil dermed oppstå stress som kan føre til sprekkdannelser. Impregneringen kan endre seg over tid. For eksempel vil alunkonserverte gjenstander reagere på fluktuerende RF og rekrystalisere seg, mens PEG absorberer vann og migrerer i gjenstanden. Impregnering kan også gjøre treet tungt og gi et unaturlig utseende. Det kan oppstå osmotisk kollaps under impregneringsprosessen hvis løsningen ikke klarer å trenge gjennom celleveggen. Eksempelvis kan molekylene i høymolekylær PEG være for store noe som kan lede til osmotisk press som fører til kollaps av celleveggen og dermed oppstår krymping under tørking (Grattan og Clarke 1987:165).

Den kanskje viktigste faktoren i forhold til jomfruene er at vandige PEG løsninger er korrosjonsfremmende (Unger m. fl. 2010:421). Det finnes imidlertid korrosjonsinhibitorer som kan tilsettes løsningen ved behandling av tre-jern kompositt (Unger m. fl. 2010:421). Hostacor IT er en korrosjonsinhibitor som kan benyttes i PEG løsninger for å senke korrosjonshastigheten når jern-tre kompositt behandles. Argyropoulos m. fl (2000) målte systematisk vanntrukket jern-tre kompositt i PEG løsninger med og uten Hostacor IT for å se om det er en effektiv metode for å senke korrosjonshastigheten. Hostacor IT virker gjennom en adsorpsjonsprosess mellom den polare funksjonelle gruppen i inhibitoren og  $\text{Fe}^{3+}$  ioner på



metallets overflate. Oppløst oksygen deltar i oksidasjonen av  $\text{Fe}^{2+}$  til  $\text{Fe}^{3+}$  ioner, noe som øker den lokale pH og fremmer passivering ved at det dannes et beskyttende lag mellom  $\text{Fe}^{3+}$  kationene og korrosjonsinhibitoren (Argyropoulos m. fl. 2000:253-254).

Korrosjonspotensialet kan gi innsikt i om en jerngjenstand er passivt eller aktivt korroderende i behandlingsløsningen. Resultatet viste at korrosjonspotensialet for tre-jern komposittene ikke økte betydelig. Trolig når ikke inhibitoren inn mellom metallets og treets grenseflate eller så er miljøet i grenseflaten slik at inhibitoren ikke er effektiv for eksempel på grunn av mangel på oppløst oksygen. Konklusjonen er at Hostacor IT som en korrosjonshemmer ikke er så effektiv mot å senke korrosjonen av jern i PEG løsninger. Mer forskning på hvordan Hostacor IT virker og miljøet mellom tre-metall grenseflaten er derfor nødvendig (Argyropoulos m. fl. 2000:258-262).

### 7.3.3 Sukkeralkoholer

Sorbitol og mannitol var i bruk frem til PEG ble oppdaget, siden PEG ga mer effektiv antikrympe kontroll og treverket ble mer resistent mot angrep fra mikroorganismer (Grattan og Clarke 1987:183). Sukkeralkoholer har imidlertid på nytt gjort sitt inntog i konserveringsmiljøet. Mannitol har blitt testet som metode i forbindelse konservering av Mary Rose, men kort behandlingstid og lav løselighet ved romtemperatur resulterte i ødeleggelse av blant annet flere tregjenstander. De forlot derfor metoden til fordel for to-steps PEG metoden (McConnachie og Jones 2003:65). Konserveringsavdelingen ved Kulturhistorisk Museum har testet både sorbitol og mannitol på kompositt tre-jern gjenstander siden det ikke er korrosjonsfremmende og de oppnådde gode resultat i forhold til krymping og oppsprekking (Sandvoll 2011:pers.komm., Vike 2011:pers.komm.). Mannitol og sorbitols egenskaper i forhold til trekonservering er også i ferd med å bli undersøkt ved Nationalmuseets Bevaringsavdeling i Brede av Jensen og Bjerregaard (Strætkvern 2011:pers.komm.). Sorbitol og mannitol er isomere med molekylvekt 182 (Grattan og Clarke 1987:182), men med ulike egenskaper. Sorbitol finnes naturlig blant annet i bærene til planten eukalyptus, pærer, epler og kirsebær (Bateson 1936).

Bateson (1936, 1938, 1939) testet ut ulike konsentrasjoner sorbitol på fersk eik og bøk etterfulgt av kontrollert tørking i klimaskap, og resultatet viste at sorbitol hadde god anti-krympe effektivitet (ASE).

Anti-krympe effektivitet er et verktøy for å fastslå hvor suksessfull behandlingen har vært. ASE er påfallende konstant for ulike trearter og ulik nedbrytning selv om det er variasjoner i  $S_a$ . Til høyere ASE verdi, jo mer vellykket var behandling, og er ASE verdien 100 % oppstod det ingen krymping. En ASE verdi på 75 % eller over, er et tilfredsstillende resultat. Tre som har høy  $S_a$  må ASE være tilsvarende høy for at resultatet skal ha verdi innefor konservering (Grattan m. fl. 1980:127). ASE er dermed en enkel metode for å sammenligne ulike behandlinger. Jones m. fl mener imidlertid at ASE må være større enn 90 % for å kunne aksepteres som en behandling (Jones m. fl. 2009:2181).

$ASE = \frac{100 \times (S_a - S)}{S_a}$ <p> <math>S_a</math>: krymping - lufttørket ubehandlet tre  <math>S</math>: krymping - tørket behandlet tre         </p>
---

Figur 22. Definisjon av anti-krympe effektivitet (ASE).

Jones m. fl (2009) testet mannitol og sorbitol som en erstatter for PEG på eik fra Mary Rose. Treverket ble testet i 5%, 10% og 20 % løsninger (vekt/volum) i syv dager, før det deretter ble frysetørket. Den høyeste ASE som ble oppnådd i eksperimentet var  $70 \pm 15$  % ved å bruke 20 % løsning sorbitol. Sorbitol har dermed høyere ASE enn mannitol, som vil si at sorbitol fører til mindre krymping enn mannitol. Resultatet viser at økende konsentrasjon av løsningen fører til redusert krymping og dermed økende ASE. Den laveste krympingen ble oppnådd med 20 % sorbitol som gav en krymping på  $5,3 \pm 2$  %. Det var imidlertid ikke betydelig forskjeller i krympingen mellom radial, tangential og langsgående retning, men det er trolig på grunn av at testmaterialet hadde for liten dimensjon til at forskjellene ville gi noe utslag på resultatet. Siden sorbitol gir høyest ASE etter immersjon i en uke, indikerer det at de påkrevde 90 % ASE kan oppnås etter kortere immersjonstid enn tidligere antatt (Jones m. fl. 2009:2179-2182).

Mannitol har imidlertid bedre fukt og utfrysningsegenskaper enn sorbitol (Strætkvern 2011:pers.komm.). Mannitol fryses ut ved  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , mens sorbitol fryses ut under  $-45^{\circ}\text{C}$  (Watson 1997:14), noe som tar lang tid og krever mye energi. Sorbitol og mannitol er ikke tidligere testet på tau (Peacock 2011:pers.komm.), men 15 % og 20 % sorbitol i etanol er testet ut på lær som ga et stivt, hardt og skjørt resultat (Peacock 1984).

#### 7.3.4 Nyere metoder

Selv om PEG fortsatt er det vanligste impregneringsmetoden benyttet til vanntrukket arkeologisk tre og tauverk, utvikles det og forskes på nye metoder som også tar hensyn til kompositte gjenstander.

I forbindelse med konservering av skipsvraket *La Belle* som sank utenfor Texas kyst i 1686 har C. Wayne Smith og Donny L. Hamilton ved Texas A&M University utviklet en ny og mer kosteffektiv metode med passive polymerer. Behandlede gjenstander blir mer stabile enn samme gjenstand behandlet med andre metoder og de tåler samtidig mer håndtering (Smith 2003:3). Silikon olje er passive polymerer som er hydrofobiske, og gjør dermed gjenstanden mindre sensitiv for fuktighet, samtidig som det gir materialet styrke, fleksibilitet, naturlig overflate og farge. Silikon olje hindrer også avflaking av treets mer nedbrutte overflate fra den tettere og bedre bevarte kjernen (Smith 2003:21:38). Et potensielt biprodukt som dannes i materialet når PEG benyttes som impregnering er maursyre, men siden silikon olje har en rigid struktur, kan dermed ikke maursyre dannes (Smith 2003:39). Metoden kan benyttes til spot-behandling av organiske materialer, som er nyttig hvis gjenstanden er en kompositt og det organiske materialet er i kontakt med metall (Smith 2003:38), siden polymeren og kryssbinderen ikke har negativ effekt på metallkomponenten (Smith 2003:80).

Silikon olje er blant annet testet ut på treknapper med tråder fra skipsvraket *La Belle*. Resultatet viste at trådene ble fleksible, klumpet seg ikke sammen, beholdt sin farge, tekstur og elastisitet. Treknappene beholdt sine karakteristiske trekk, og resultatet har ikke endret seg over tid (Smith 2003:26-28). Tau fra *La Belle* ble også testet med silikon olje, og resultatet var et noe stivt tau, men stabilt og estetisk tilfredsstillende (Smith 2003:85). Silikon olje kan imidlertid ikke blandes med vann og gjenstanden må derfor først dehydreres. Behandlingen involverer tre hovedsteg: dehydrering med aceton, passiv polymerisering og katalysering (Smith 2003:13). Metoden er irreversibel, men kan trolig rebehandles (Smith 2003:89). Problemet er imidlertid at det dannes en kompositt gjenstand siden en større del av materialet dermed vil være et polymer. Det øker tettheten, og gjenstanden trenger derfor ofte støtte slik at den ikke kollapser av sin egen vekt (McConnachie og Jones 2003:61).

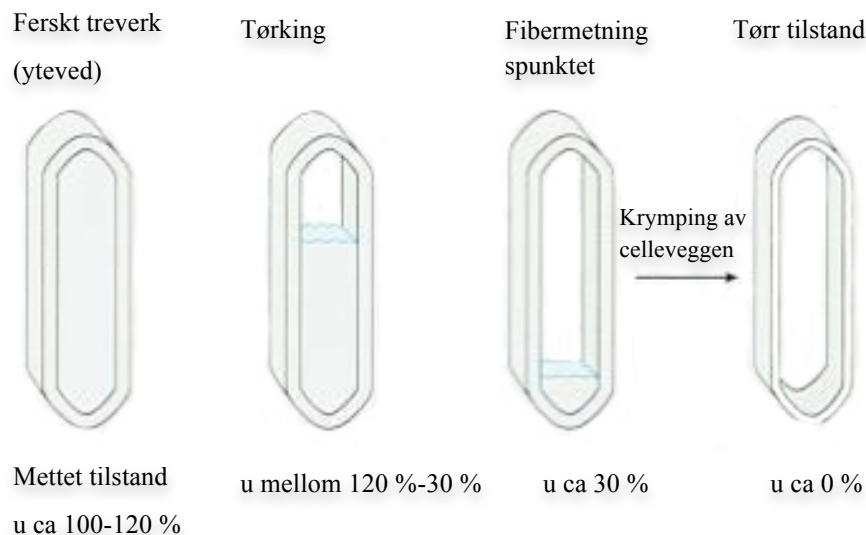
Azelanisyre er også en nyere impregneringsmetode, og prinsippet er det samme som med alun metoden hvor treet immerseres i varm azelainsyreløsning. Etter impregnering lufttørkes gjenstanden hvor azelainsyren vil krystallisere seg i materialet etter minutter.

Fordelen med metoden er kort behandlingstid, trenger ikke frysetørke eller kontrollert tørking av gjenstanden da azelainsyre blir fast i romtemperatur, samt at deformasjon og sprekkdannelser er nesten ikke eksisterende. Azelainsyre er resistent mot varme, lys og oksygen (Chaumat m. fl. 2009). Metoden fremmer trolig ikke korrosjon, og kan dermed benyttes på kompositte gjenstander (Pedersen 2009:42). Det er imidlertid fortsatt en veldig ny metode, så mer forskning er nødvendig. Pedersen (2009) testet i sin masteroppgave ulike konsentrasjoner azelainsyre på vanntrukket tre. Resultatet viste at kun svært nedbrutt tre oppnådde tilfredsstillende resultat. I tillegg er det flere bakdeler med metoden, blant annet praktiske ufordringer med å impregnere større gjenstander side det krevere høy temperatur. I tillegg fører lav pH og den høye temperaturen til at treverket brytes ned under impregneringen. Konklusjonen er at det trolig er mulig å konservere mindre svært nedbrutte gjenstander av vanntrukket tre (Pedersen 2009:111).

Flere av impregneringsmidlene blant annet PEG og sorbitol er hygroskopisk, og gir gjenstanden dermed ingen beskyttelse mot fuktighet. Svovel og jernsulfider i treet kan derfor oksidere og vaskes ut av fuktigheten noe som fører til mineralavsetninger på overflaten. En metode som kan gi beskyttelse mot fuktigheten er harpiks som støper inn mineralkrystallene og dermed hindrer avsetninger av mineralene. Metoden er blant annet testet ut på en lavett bestående av tre og jern hvor gjenstanden ble behandlet med umettet polyester harpiks oppløst i styren. Først dehydreres gjenstanden i aceton, deretter impregneres gjenstanden med harpiksløsningen fortynnet i aceton, før den fortynnete løsningen erstattes med ren harpiks før gjenstanden til slutt herdes med gammastråler. Resultatet var tilfredsstillende i forhold til dimensjon og utseende, men det oppstod små sprekker i treverket (Tran m. fl. 2011).

## **7.4 Tørking**

Fuktighet eksiterer i treverk både som flytende væske i lumen og som fuktighet i celleveggen (Rowell 2005:77). Vannet som absorberes og holdes i celleveggene ved hydrogenbindinger kalles bundet vann. Når all tilgjengelig fuktighet er absorbert i celleveggen er fibermetningspunktet er nådd, fylles lumen deretter med vann, som betegnes fritt vann (figur 23). Ved tørking har ikke tap av det frie vannet innvirkning på treet styrke eller dimensjon, men bundet vann forsvinner imidlertid ikke før alt det frie vannet er borte. Når treet tørket under 28-30% som tilsvarer fibermetningspunktet har tapet av bundet vann en effekt på treet ved at treet styrke øker, men dimensjonene reduseres (Hoadley 1998:12).



Figur 23. Illustrasjon av hvordan fuktigheten fordeler seg i en celle fra mettet til tørr tilstand (Kucera og Næss 1999:223). Det er først når fuktigheten er lavere enn fibermetningspunktet at cellen begynner å krympe.

Hvis vanntrukket tre og tauverk tørker ukontrollert kan det kollapse, krympe, vri seg og sprekke, og det er generelt irreversible skader (Peacock 1992:200). Det er to hovedårsaker til at tre endrer seg dimensjonalt under tørking: kollaps av lumen og krymping av celleveggen. Tørkeprosessen til vanntrukket tre har to faser som finner sted over og under fibermetningspunktet. Kollaps oppstår over fibermetningspunktet, og krymping under fibermetningspunktet (Grattan 1987:59-60).

Hovedårsaken til kollaps er kapillære spenninger, siden vannets høye overflatespenning hindrer luftbobler i å trenge inn i cellen for å erstatte det tapte vannet. I tillegg er ikke treets overflate like fuktig som treets innside. Ettersom overflaten tørker vil krympingen føre til internt stress på grunn av at overflaten er strukturelt sterkere enn treets innside som fortsatt er fuktig. Det fører til at treet sprekker og vrir seg. Når det frie vannet fordamper krymper celleveggene. Siden treverk er et anisotropisk materiale er også krympingen anisotropisk. Generelt er krympingen større tangentialt enn radialt, og langsgående krymper treverk svært lite (Grattan 1987:62, Christensen 1970:68). Tørking er derfor et kritisk punkt i konserveringsprosessen og det finnes flere ulike tørkemetoder for organiske materialer. Der er viktig at riktig tørkemetode velges for å unngå at jomfruene sprekker, vrir seg og krymper.

Tørke fra vann er den enkleste og rimeligste metoden, som for eksempel kontrollert lufttørking eller frysetørking uten forbehandling. Det frie og bunnete vannet fordamper da fra gjenstanden, og resultatet er en tørr gjenstand uten tilsatt materiale. Metoden tilfører ikke

kjemikalier som kan være ustabile og forstyrre fremtidige analyser av gjenstanden. Stresset ved fordampingen fører imidlertid til at gjenstanden kan krympe og sprekke, noe som kan kreve videre behandling av gjenstanden etter tørkingen (Jenssen 1987:123, Grattan og Clarke 1987:167). Tørking ved at vannet erstattes av impregneringsmiddel, hvor et polymerisk materiale eksempelvis PEG eller glyserol introduseres forbedrer hvordan gjenstanden reagerer på den etterfulgte luft- eller frysetørkingen (Jenssen 1987:123-124, Andersen 1993:56).

Løsemiddeltørking innebærer å bytte ut vannet med et mindre polart løsningsmiddel som for eksempel aceton etterfulgt av lufttørking. Utvekslingen av vannet med løsningsmiddel gjøres gradvis i steg for å øke konsentrasjonen. Fordelen er at gjenstanden renses samtidig, og i tillegg reduserer det potensialet skadelig stress som oppstår når det lufttørkes fra vann og som vil føre til mindre krymping og oppsprekking. Ved å tørke fra løsningsmiddel skjer fordampingen raskere enn med vann, noe som betyr at det ikke trenger å være vått like lenge. Den kortere fordampingen fører også til at overflatespenningen og de kapillære kreftene reduseres. Løsningsmidlene har en overflatespenning som er omtrent 1/3 av vann og de skadelige effekten som følge av overflatespenningen reduseres (Jenssen 1987:123-124, Peacock 1992:201-202, Grattan og Clarke 1987:166, Andersen 1993:58). Det er en enkel og forholdsvis billig metode, men væsken kan imidlertid løse opp fargestoffer eller oljer som materialet kan være behandlet med. I tillegg er det brann og helsefare, og gjenstanden kan kreve videre behandling etter tørking. Tørking kan utføres etter at gjenstanden er tilsatt konsolideringsmiddel som fester seg til den porøse strukturen ved fordamping. Metoden forsøker å bevare dimensjonen og gi materialet styrke. Egenskapene til konsolidanten kan imidlertid føre til stress i gjenstanden som fører til at den krymper og det oppstår sprekker (Jenssen 1987:123-124).

Alle metodene bortsett fra lufttørking har til hensikt å redusere overflatespenningen og de kapillære kreftene som oppstår. I teorien kan alle impregneringsmetodene etterfølges av lufttørking, løsningsstørking eller frysetørking (Peacock 1992:200-205). Det er imidlertid kun et stoffs væskeform som kan danne overflatespenning, og frysetørking er en sublimasjonsprosess hvor vannet direkte transformeres fra is til gass uten å gå gjennom væskefasen. Dermed hindres overflatespenningen og materialet påvirkes ikke av kapillærkreftene (Andersen 1993:56-59). For en suksessfull frysetørking er det derfor viktig at væskefasen under frysetørkingen unngås for å hindre at kapillære krefter produseres og forårsaker kollaps (Jensen og Schnell 2005). Hovedforskjellen på frysetørking og alle andre

metoder er isen som dannes under frysetørkingen låser fast den historiske strukturen og hindrer fysiske og kjemiske endringer å oppstå når vannet fordampes ved sublimasjon, og gjenstanden beholder sin form, utseende og tilstand (Peacock 1992:202). Det er imidlertid uenigheter om tilsatt vandig impregneringsmiddel ekspanderer under frysing, eller om de vannløselige polymerene hindrer denne ekspansjonen (Jenssen 1987:124).

Hastigheten på tørkingen er også en viktig faktor innfor tekstilkonservering. Tørkes gjenstanden for raskt vil polymerkjeden komme i kontakt med hverandre og danne hydrogenbindinger som fører til at en krystallinsk struktur dannes. Det betyr at forholdet mellom krystallinsk og amorfe regioner endres. Siden vann ikke kan trenge gjennom krystallinske områder vil fibrene binde til seg mindre vann enn det som kreves for å opprettholde fleksibiliteten. Det øker stivheten og skjørheten til fibre, og ekstreme tilfeller kan det resultere i total oppløsning av tauet (Tímár-Balázs og Eastop 1998:285).

## **7.5 Diskusjon og kost-nytte analyse**

Utfordringen er å finne en forbehandling som ivaretar og stabiliserer jomfruenes materialer siden det er en kompositt gjenstand. Det finnes mange ulike forbehandlinger til vanntrukne arkeologiske gjenstander, og kapittel 7.3 ga bare et kort innblikk i hvilke metoder som kan være aktuelle for stabilisering av jomfruene. Behandlingen må bevare og stabilisere tre og tauverket, samtidig som behandlingen ikke skader jernet. Ved valg av konserveringsmetoder er det i følge Grattan og Clarke (1987:188) flere faktorer som bør vurderes og tas hensyn til:

- Metodens evne til å stabilisere gjenstandens dimensjoner.
- Metodens evne til å gi fysisk, biologisk og kjemisk stabilitet over tid.
- Metodens kostnader.
- Hvor lang tid behandlingen tar.
- Miljø og helseskader eller andre vanskeligheter med metoden.
- Metodens pålitelighet og reversibilitet.

I forbindelse med valg av konserveringsbehandling av jomfruene er det også viktig å ta hensyn til det estetiske, laboratoriets fasiliteter og at metoden skal ivareta alle materialene

jomfruene består av. Selv om reversibilitet er mulig i teorien, er det imidlertid vanskelig i praksis siden enhver behandling vil endre gjenstanden.

Som et verktøy i beslutningsprosessen ble en egentilpasset variant av kost-nytte analyse utviklet. Kost-nytte analyser er ikke lenger bare lønnsomhetsvurdering av tjenester, men benyttes nå også innefor konservering som et kost-effektivt verktøy og for å strukturere beslutningsprosesser (Cassar 1998, Michalski og Rossi-Doria 2011). En kost-nytte analyse dokumenterer alle alternativene som ble vurdert i beslutningsprosessen, og forklarer kriteriene som ble lagt til grunn for å finne den beste behandlingen (Michalski og Rossi-Doria 2011:2).

Forbehandlingsmetodene som vil bli vurdert er de som ble diskutert i kapittel 7.3. Kost-nytte analysen tar i betraktning de ulike overnevnte faktorene, og en verdi mellom 1-5 blir gitt hver enkelt kriterium hvor 1 er dårligst og 5 er best. Verdiene gis ut fra egne erfaringer og litteraturgjennomgang, og metoden som får høyest sum er den beste. Basert på resultatet av analysen og diskusjon vil et forslag til forbehandling bli gitt. For kriterier lagt til grunn og definisjon se figur 24.

- Fasiliteter: Konserveringslaboratoriets har begrenset med utstyr. Krever behandlingen utstyr utenfor labens kan behandlingen utelukkes.
- Tid: På grunn av oppgavens tidsramme kan ikke behandlingen gå over flere måneder.
- Jern: Litteraturgjennomgang, analyser og rensing bekreftet at det er jern tilstede, og at det er en del av gjenstanden. Behandlingen må derfor ivareta jernet.
- Helhet: Behandlingen må stabilisere og bevare både treverket, tauet, tjæren og jernet.
- Stabilitet: Hindre at treets overflate flasser, hindre krymping og oppsprekking.
- Utseende: Behandlingen må bevare jomfruens sanne natur.

Figur 24. Definisjon av kriteriene som er lagt til grunn i kost-nytte analysen.



Tabell 3. Kost-nytte analyse

Vekting	20	20	20	40	35	30	
Behandlingsmetoder	Fasiliteter	Tid	Jern	Helhet	Stabilitet	Utseende	Sum
PEG	5	3	1	3	2	5	520
Mannitol	1	4	5	4	3	4	585
Sorbitol	5	4	5	5	5	4	775
Silikon olje	5	5	5	3	4	3	650
Azelanisyre	4	5	4	3	3	3	575
Umettet polyester harpiks	1	4	5	3	3	3	515

	Viktighet av metodenes utslag på gjenstanden
	Forbehandling
	Kriterier for valg av metode

Resultatet fra kost-nytte analyse gir sorbitol den høyeste sum på grunnlag av at PEG som metode gir et bra estetisk resultat, men er korrosjonsfremmede, og på basis av at Hostacor IT ikke har dokumentert effekt ble PEG utelukket som metode. Det er mulig å lokalimpregnere treverket og tauet, men PEG vil migrere over tid, og i tillegg har korrosjon impregnert tauet. Sorbitol og mannitol er forholdsvis raske impregneringsmetoder siden begge har lav molekylvekt. Det er imidlertid hygroskopisk og tiltrekker seg mikroorganismer. Den kanskje viktigste faktoren i forhold til jomfruene er at metodene ikke er korrosjonsfremmende. Sorbitol gir også høyere ASE verdi enn mannitol. Silikon olje er en metode benyttet både på tre og tau, og men siden aceton benyttes til dehydrering er behandlingen utelukket på grunn av at aceton kan løse opp tjæren. Azelainsyre er en rask metode som ikke krever tørking, men er en forholdsvis ny metode og forskning viser at det gir et bra resultat bare på svært nedbrutt tre. Umettet polyester harpiks er en rask metode benyttet på kompositt tre-jern gjenstander, men siden metoden krever aceton og gammastråler som ikke er tilgjengelig ved laboratoriet er metoden utelukket. På bakgrunn at sorbitol fikk den høyeste summen, mannitol ikke var tilgjengelig ved studiet og det viste seg at det var kostbart ble det besluttet å sette i gang et forsøk med sorbitol siden metoden ikke tidligere er testet ut på tauverk.

## 8 Praktisk forsøk med sorbitol

Diskusjonen og kost-nytte analysen konkluderte med at sorbitol kan benyttes for å stabilisere jomfruene, se kapittel 7.5. Konserveringsavdelingen ved Kulturhistorisk Museum har benyttet sorbitol på kompositt tre-jern gjenstander med gode resultater, og test av ASE indikerer at sorbitol gir mindre krymping i treverket enn mannitol. Sorbitol har som tidligere nevnt blitt testet på lær som ga et stivt resultat, men metoden har trolig ikke tidligere blitt benyttet på tauverk. Derfor var det viktig å teste ut hvordan sorbitol virker på tau som materiale. Det ble dermed besluttet å sette i gang et forsøk hvor ulike konsentrasjoner med sorbitol ble testet på vanntrukket arkeologisk tau. Vanntrukket arkeologisk tre ble også testet i samme omgang for å se hvilke konsentrasjoner som eventuelt ga det beste resultatet.

### 8.1 Metode

Forskningsmaterialet som ble benyttet i forsøket var fra samme funnkontekst som jomfruene og treverket som ble benyttet var vanntrukket eik og basttau fra Barcodefeltet.

Prøvematerialet ble rensset forsiktig under rennende springvann før impregnering og dokumentasjonen. Størrelse og form på testmaterialet bør være uniform for å få best mulig sammenligningsgrunnlag (Christensen 1970:80). Treverket som prøvemateriale var homogent nedbrutt, men noe mer nedbrutt enn jomfruene siden overflaten var mye bløtere. Tauverket

Tabell 4. Oversikt over prøvematerialet og konsentrasjoner

Impregnering	Prøve
Sorbitol 10 %	Prøve 1
Sorbitol 20 %	Prøve 2
Sorbitol 30 %	Prøve 3
Sorbitol 40 %	Prøve 4
PEG 400 20 %	Prøve 5
PEG 400 30 %	Prøve 6

var mer uensartet både utseendemessig og grad av nedbrytning. Det ble valgt å teste fire ulike konsentrasjoner med sorbitol (vekt:volum), og siden PEG 400 (volum:volum) ofte er benyttet til impregnering av tau (Grant m. fl. 1997, Peacock og Schofield 1997) ble det valgt to konsentrasjoner med PEG 400 som kontrollprøver. Det ble forberedt totalt seks ulike løsninger hvor det i hver enkelt løsning ble lagt en tauprøve og en treprøve (tabell 4). Forsøket ble utført i romtemperatur uten tilsetning av biocider. For å hindre at tauet gikk i oppløsning under impregneringen ble perforert plast sveiset fast rundt hver enkelt tauprøve.

Under impregneringsprosessen kan konsentrasjonen variere på grunn av fordamping eller diffusjon av vann fra gjenstanden ut i løsningen. Derfor er det nyttig å kunne måle konsentrasjonen regelmessig, både for å holde konsentrasjonen konstant, samtidig som det kan indikere når gjenstanden er ferdig impregnert ved se når konsentrasjonen har stabilisert seg. Det finnes ulike analytiske metoder for å måle konsentrasjoner, blant annet væskechromatografi. En enkel og mindre kostbar metode som kan måle konsentrasjonen er imidlertid mål av brytningsindeks. Brytningsindeks defineres som hvor mye lysets hastighet blir redusert gjennom et material. Blant annet har PEG med forskjellig molekylvekt ulike brytningsindeks, men brytningsindeksen oppstår i hovedsak på bakgrunn av tetthet og ikke molekylgeometri. Brytningsindeksen øker simultant med konsentrasjonen og det kan dermed benyttes til å bestemme konsentrasjonen i løsningen, men den reduseres imidlertid noe med økende temperatur. Brytningsindeksen kan måles enkelt med en tradisjonell håndholdt refraktometer hvor en prøve av løsningen legges på prismet i refraktometeret og dekkplaten legges over (Brather 2009:351-355). Resultatet tydes ved å holde refraktometeret opp mot lyset og lese av interferensstripen som oppstår.

For å kunne holde konsentrasjonen stabil, samt få en indikasjon når impregneringsprosessen var ferdig ble brytningsindeksen i de ulike konsentrasjonene av sorbitol og PEG målt med et refraktometer (Atago Hand-Held Refractometer modell R-5000). I mangel på standard brytningsindeks ble det ved forsøkets start utarbeidet en selv. Det ble tatt mål av løsningene hver uke, og var det avvik i brytningsindeks verdiene ble sorbitol eller PEG tilsatt til standard verdi igjen var oppnådd. Det ble tatt tre målinger hver gang av samme løsning, og gjennomsnittet ble regnet ut (vedlegg 6, graf 4 og 5). Brytningsindeksen ble lest av på 20°C siden det er temperaturen på laboratoriet. Etter fem uker hadde konsentrasjonen stabilisert seg og det ble det tolket som at diffusjonsprosessen var over og at prøvematerialet var ferdig impregnert.

Prøvematerialet ble deretter frysetørket i en Heto Drywinner CD8. Den perforerte plasten rundt tauprøvene ble ikke tatt av før frysetørkingen, men overskuddsorbitol ble tørket av med trekkpapi. Siden sorbitol har en utfrysningstemperatur på -45°C, ble temperaturen i frysetørkeren satt til -48°C. Under frysetørkingen ble prøvematerialet regelmessig veid, og når vekten hadde stabilisert seg ble prøvematerialet ansett som tørt, og frysetørkingen avsluttet.

For å sammenligne og evaluere resultatet er det viktig med flere parametere. Prøvematerialet ble derfor dokumentert før og etter forsøket (vedlegg 6, tabell 6-8, og figur 62-75). Det ble fotografert, veid, målt og fargebestemt. For å oppnå større objektivitet ble Munsell Soil Color Charts (1994) benyttet for å bestemme farge. I tillegg var klebrighet, fleksibilitet og kohesjon viktig ved vurdering av tauverkets resultatet. Klebrighet ble vurdert ved å legge på et trekkpapir på prøvematerialet for deretter å løfte det av, og satt det igjen papir var overflaten klebrig.

## **8.2 Resultat og diskusjon**

Sett bort i fra at den perforerte plasten rundt tauverket skulle vært fjernet før frysetørking og resten av overskuddsorbitol tørket av ga alle konsentrasjoner av sorbitol et estetisk tilfredsstillende resultat på tauprøvene. Fibrene og tauet beholdt både formen og kohesjonen,. Overflaten var ikke klebrig, men derimot var ingen tauprøvene fleksible. Fargen hadde lysnet noe på alle prøvene som var impregner med sorbitol. Tauprøvene som var impregner med PEG 400 hadde mørknet, var fleksible, men overflaten var klebrig og det var ikke like god kohesjon mellom fibrene og kordelen. Siden prøvene var små og uensartet størrelse er det vanskelig å sammenligne krympingen (vedlegg 7, tabell 7).

På treprøvene som ble impregner i sorbitol hadde det oppstått små krakeleringer i overflaten, bortsett fra 40 %. Hva som var årsaken til oppsprekkingen er ikke mulig å fastslå, men det kan være for lav konsentrasjon og veldig nedbrutt overflate, eller at det ikke ble kaldt nok i frysetørkeren. Temperaturen ble satt til  $-48^{\circ}\text{C}$ , men det var imidlertid umulig å oppnå kaldere enn  $-37^{\circ}\text{C}$ . Overflaten på treprøvene som ble impregner med sorbitol var ikke klebrige og overflatedetaljene var godt synlige. Fargen hadde lysnet noe og blitt gråere (vedlegg 6, tabell 6). Prøve 3 hadde krympet minst, etterfulgt av prøve 4 (vedlegg 6, tabell 8).

På bakgrunn av at det ikke oppstod krakeleringer i prøve 4 ble det derfor konkludert med at 40 % sorbitol beholder jomfruenes kvaliteter, bortsett fra tauets fleksibilitet. Siden tauet originalt var fleksibelt er det en ønskelig egenskap å oppnå, men når kompositte gjenstander skal behandles må det inngås kompromiss. I dette tilfellet ble det valg å ofre et materiales egenskap fremfor å ofre et materiale. Det ble derfor besluttet å impregnere jomfruene i 40 % sorbitol. Siden taukveilen er en del av gjenstanden og for at tauet på jomfruene og taukveilen skal få samme utseende ble også taukveilen impregner med 40 % sorbitol.

## 9 Behandling – forslag og praktisk utførelse

Vanntrukket tau er i avspent tilstand, men det er imidlertid forskjell på å være våt og være våt i vann. For nedbrutt tekstil er det vannet i cellene som strukturelt holder fibre sammen. Ved å bløtlegge vanntrukket tekstil blir systemet oversvømt og den strukturelle balansen kan forstyrres (Peacock 1992:198). Legges jomfruene i vann under rensingen er det derfor en risiko for at fibre og kordelene kan flyte ut. Det ble derfor besluttet å ikke legge jomfruene og taukveilen i vann under rensing, men holde de fuktige under prosessen ved å spraye på destillert vann regelmessig.

På bakgrunn av at jomfruene er en kompositt gjenstand og det var usikkerhet rundt om det var jern under korrosjonslaget ble destillert vann og mekanisk rensing ansett som den metoden som var mest skånsom og ga mest kontroll.

Taukveilen ble renses ved først å legge den på en glassplate og holde den forsiktig under rennende springvann for å rense bort løs leire. Deretter ble taukveilen lagt i en polystyrenboks med netting under slik at den enkelt kunne håndteres uten å ta på taukveilen. Den videre rensingen foregikk med pensel under arbeidsmikroskop hvor leiren ble børstet forsiktig av taukveilen. Etter hvert som vann ble sprayet på ble boksen fylt med vann og leire, og når det ble et visst nivå i polystyrenboksen ble taukveilen løftet ut med nettingen og boksen tømt for vann (figur 26).

Under rensing ble jomfruene først støttet opp med etafoam slik at det løse tauet i hulkilen holdt seg på plass og samtidig som det ble minst mulig belastning på tauet som holdt jomfruene sammen (vedlegg 7, figur 76). Rensingen ble utført med lupe og under arbeidsmikroskop for å ha mest mulig kontroll. Før rensing av jomfruenes fremside ble baksiden observert med speil, noe som viste at tauet på baksiden hadde revnet. Leiren ble børstet forsiktig av treverket og tauet med en myk pensel (figur 27 og 28). Muggforekomstene ble børstet av i samme omgang, men blomstret opp igjen til neste renseprosess selv om jomfruene og taukveilen ble oppbevart mørkt i kjøleskap.

Leiren i hullene ble gravd ut med en liten spatel, men i noen områder på treverkets overflate hadde leiren forsteinet. Den harde leiren ble forsøkt fjernet ved å skjære og skrape forsiktig med skalpell.

Et kritisk punkt i renseprosessen var hvordan jomfruene skulle vendes uten at tauet som forbinder jomfruene skulle ryke. Tanken var å forsiktig pakke plast rundt jomfruene for å støtte og fylle hulrommene, og dekke det hele med skumgummi. Deretter skulle en støttekappe av gips lages slik at jomfruene kunne vendes forsiktig. Selv om det ble utført forsiktighet under håndtering og rensing revnet som nevnt det siste tauet og det ble derfor ikke noe problem å snu jomfruene.



Figur 25. Korrosjonen ferdig renset.



Figur 26. Taukveilen ferdig renset.



Figur 27. Jomfruenes fremside ferdig renset.



Figur 28. Jomfruenes bakside ferdig renset.

Etter røntgenfotografering, XRF og SEM-EDS, samt samtale med museet ble det besluttet å fjerne korrosjonen. Det ble utført forsiktig med skalpell og spatel siden det var mistanke om at det kunne være jern under korrosjonen, og som tidligere nevnt ble det avdekket jern rundt hulkilen til nedre jomfru under renseprosessen (figur 25, og vedlegg 7, figur 77-78). Korrosjonen som hadde impregnert tauet ble besluttet å ikke fjerne da det kan føre til ødeleggelse av tauet.

Ut fra kost-nytte analysen og forsøket ble det besluttet å impregnere jomfruene i 40 % sorbitol (vekt/volum). Siden taukveilen er en del av gjensanden, og den dermed bør få samme utseende som tauet på jomfruene ble også taukveilen impregnert med 40 % sorbitol. Før jomfruene ble lagt i sorbitol ble fuktige kluter lagt over jomfruene og taukveilen slik at det ikke skulle oppstå osmotisk kollaps når de legges i sorbitol siden jomfruene i utgangspunktet ikke var vanntrukket. For å hindre at tau løsnet fra jomfruene og at tauet kveilet seg opp ble perforert plast sveiset tett rundt jomfruene og taukveilen (vedlegg 7, figur 79-80).

Brytningsindeks ble benyttet som metode for å få en indikasjon på når jomfruene var ferdig impregnert og for å holde konsentrasjonen konstant. Brytningsindeksen ble målt hver uke, men det oppstod imidlertid ikke noen avvik i verdien i forhold til hva brytningsindeksen var da løsningen ble laget. En trolig årsak er at jomfruene var fuktige, ikke vanntrukne slik at det ikke var noe vann i jomfruene som diffunderte ut i løsningen og senket konsentrasjonen.

Samtidig som brytningsindeksen ble målt ble løsningen undersøkt for biologisk aktivitet siden det ble bekreftet muggforekomster på jomfruene. Etter tre uker ble det observert et tynt lag på løsningens overflate som trolig var biologisk aktivitet. På grunn av oppgavens tidsramme ble derfor impregneringsprosessen avsluttet etter seks uker.

Siden frysetørking hindrer overflatespenning og kapillære krefter i å oppstå ble det besluttet å etterfølge impregneringen med frystørking. Før frysetørking ble den perforerte plasten tatt av jomfruene og taukveilen, og overskuddet av sorbitolen tørket av med trekkpapir for å hindre hvitt belegg på overflaten. Jomfruene og taukveilen ble lagt på etafoam og støttet opp før frysetørking. Tauet i hulkilen som er løs ble støttet opp ved å benyttet trepinner som støtte under frysetørking (vedlegg 7, figur 81-82). Siden sorbitol fører til at tauet blir stivt var det viktig å arrangere tauet slik det skal ligge i utstilling siden det vil ikke være mulig å bevege tauet når det er tørt. Trolig må det løse tauet limes fast til hulkilen etter frysetørkingen. Ved oppgavens innlevering ligger fortsatt jomfruene og taukveilen i frysetørkeren.

## 10 Evaluering av behandling

Jomfruene er en arkeologisk gjenstand, og både vil og bør bære preg av at den kommer fra en arkeologisk kontekst. Som et historisk dokument er det en funksjonell gjenstand og det er viktig å bevare det funksjonelle inntrykket. Det ble derfor utført grundige undersøkelser om korrosjon og jernet var en del av gjenstanden. Før rensing ble det derfor utført røntgen, XRF og SEM-EDS som indikerte at det var jern tilstede, og renseprosessen avdekket at det var jern rundt nedre jomfruens hulkile.

Rensing av leire og korrosjonen ga gode resultat, men det er imidlertid en vanskelig balansegang mellom hvor mye som skal fjernes og beholdes. Et jernfragment fra hulkilen falt av og gikk i oppløsning. Det ble derfor valg å avslutte rensingen i hulkilen da det til slutt var vanskelig å se hva som var tre, jern og leire. Jomfruene fremtrer nå som både mer estetisk, men samtidig kommer det funksjonelle mer til uttrykk. Det tykke laget med forsteinet leire ble forsøkt fjernet med skalpell, men ettersom det nærmet seg treverkets overflate løsnet det små trefragmenter. Det ble derfor besluttet å avslutte forsøket på å fjerne den forsteinede leiren. Selv om det var ønskelig å fjerne mest mulig av leiren ble det til slutt ansett som skadelig. Og selv om det ble utført forsiktighet under rensing og håndtering revnet det siste tauet som holdt jomfruene sammen. Det førte på den andre siden til at det ble lettere å rense jomfruene på baksiden. Rensingen av taukveilen ble avsluttet da det ble observert lite synlig leire i polystyrenboksen. Det var fortsatt leirpartikler mellom fibre, men videre rensing ville ført til at fibre falt av taukveilen. Siden jomfruene og taukveilen ble jevnlig sprayet med destillert vann var det ikke problematisk å rense samtidig som de holdes våte. Under rensing av jomfruenes bakside ble taljerepsknopen avdekket. Ved første øyekast så det ut som en klump med leire, men på grunn av litteraturstudiet om tilvikning av jomfruer og jomfruenes funksjon ble det fort klart at det var tau i form av taljerepsknopen som belyser hvor viktig det er med innledende undersøkelser både i litteraturen og på gjenstanden.

Ingen stabiliseringsmetoder er i utgangspunktet perfekte, og ved stabilisering av arkeologisk vanntrukket kompositt gjenstander må i tillegg kompromiss mellom de forskjellige materialene inngås for å hindre å ofre et eller flere materialer. Ved valg av sorbitol ble det lagt vekt på at det ivaretok alle materialene, og jomfruene som en historisk og estetisk enhet selv om metoden ofret tauets fleksibilitet. Siden jomfruene er under frysetørring ved oppgavens innlevering er det derfor ikke mulig å evaluere resultatet av sorbitol som



impregneringsmetode. Selv om sorbitol har lav molekylvekt og impregneringen går forholdsvis raskt burde trolig jomfruene ligget lenger i løsningen. Det var imidlertid vanskelig å fastslå siden målingen av sorbitol løsningens brytningsindeks ikke ga noe avvik.

Klorider og sulfater burde ideelt sett vært fjernet, men på grunn av tidsrammen, oppgavens begrensinger og etter samtaler med museet ble det besluttet å ikke fjerne eventuelle forurensinger i jomfruene.

# 11 Oppbevaring og videre forskning

## 11.1 Oppbevaring

Jomfruene består av organisk og uorganiske materialer som har ulike krav til klimatiske forhold, særlig i forhold til relativ fuktighet. Arkeologisk metall krever konstant lav RF, og ideelt sett bør arkeologisk metall oppbevares i maks 20 % RF (Cassar 1997:18-20) for å hindre videre korrosjon, mens tekstiler og ubehandlet tre bør oppbevares i 40-55 % RF (Bjørke 2003:9). Jomfruene er imidlertid behandlet med sorbitol som er et hygroskopisk materiale og det krever at stabil RF opprettholdes (Cassar 1997:18-20). Betydelig og raskt fluktuerende klimatiske forhold vil svekke trestrukturen og kan føre til kollaps. Ved høy RF absorberer treet fuktighet og det er også en risiko for at svertesoppen kan blomstre opp igjen, og ved lav RF gir treet fra seg fuktighet og det er fare for krymping og oppsprekking. Derfor er det viktig å unngå store og raske svingninger i temperatur og RF. Cassar (1997:20) anbefaler at temperaturen bør ligge mellom 19°C- 23°C og at blandede samlinger bør ha en relativ fuktighet som ligger mellom 45-55 % RF. Organisk og uorganisk materiale har ulike krav til klimatiske forhold og det må derfor inngås kompromiss mellom materialene. Siden jomfruene i hovedsak består av organiske materialer bør det vektlegges, og for å hindre betydelig fluktuerende RF med tanke på at sorbitol er hygroskopisk, samt tiltrekker seg biologisk aktivitet bør anbefalingen om 45-55 % RF følges. En stabil RF er også viktig for å hindre utfelling av jernsulfatsalter på treverkets overflate. Skal jomfruene magasineres bør de pakkes inn i syrefritt papir siden det reduserer effekt av fluktuerende RF.

## 11.2 Videre forskning

Ut i fra forsøket med sorbitol kan det konkluderes med at metoden beholder jomfruenes kvaliteter og bevarer gjenstanden som en funksjonell og estetisk enhet. Sorbitol førte imidlertid at tauet ble stivt, og det ble besluttet å ofre tauets fleksibilitet selv om det er en ønskelig egenskap å beholde. Kompositte gjenstander er lite belyst i litteraturen og siden gjenstandene ofte er komplekse er det ikke en egen kategori innenfor konservering som tar for seg kompositte gjenstander. Nettopp på grunn av den kompleksiteten er det viktig at det forskes videre på konserveringsmetoder av kompositte gjenstander.

## 12 Litteraturliste

- Almkvist, G. & Persson, I. 2009. Iron catalysed degradation processes in the Vasa. *I: Strætkvern, K. & Huisman, D. J., red. Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, Amsterdam. Amersfoort: ICOM, s. 499-505.
- Andersen, L. M. 1993. *Frysetørring af arkæologisk træ*, Viborg, Det Kongelige Danske Kunstakademi.
- Argyropoulos, V., Degrigny, C. & Guilminot, E. 2000. Monitoring Treatments of Waterlogged Iron-Wood Composite Artifacts Using Hostacor IT-PEG 400 Solutions. *Studies in Conservation*, Vol. 45, No 4, s. 253-264.
- Artioli, G. 2010. Overview of the analytical techniques. *I: Artioli, G. (red.) Scientific Methods and Cultural Heritage. An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*. Oxford: Oxford University Press, s. 16-198.
- Barbour, R. J. 1990. Treatments for Waterlogged and Dry Archaeological Wood. *I: Rowell, R. M. & Barbour, R. J. (red.) Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*. Washington: American Chemical Society, s. 177-216.
- Barker, D. 2006. Metals. *I: May, E. & Jones, M. (red.) Conservation Science. Heritage Materials*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, s. 121-159.
- Barnett, J. 2004. *Identification of textile fibers*, Barcelona, Workshop 18-20 november.
- Bateson, B. A. 1936. The shrinking and swelling of wood. Experiments on the influence of sorbitol. *The Chemical trade journal and chemical engineer*, 102, s. 493.
- Bateson, B. A. 1938. Sorbitol in wood treatment. Further experiments on shrinkage and swelling behaviour. *The Chemical trade journal and chemical engineer*, 102, s. 26-27.
- Bateson, B. A. 1939. Sorbitol in wood treatment. Further experiments on shrinkage and swelling behaviour. *The Chemical trade journal and chemical engineer*, 105, s. 93-94.
- Birkenes, J. 1997. *Vår felles fortid. Norsk historie før 1850*, Oslo, Gyldendal Norsk Forlag ASA.
- Bjørke, A. 2003. Bevaring av samlingane ved fem statlege museer. Undersøkingar utført for Riksrevisjonen. Oslo: Norsk institutt for kulturminneforskning.
- Brather, S. 2009. A simple method for the measurement of the PEG concentration in mixed impregnation solutions. *I: Strætkvern, K. & Huisman, D. J., red. Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Amsterdam. ICOM, s. 351-357.

- Caple, C. 2004. *Conservation Skills. Judgement, Method and Decision Making*, London, Routledge.
- Cassar, M. 1997. Objects, people and space. *Environmental Managers*. Routledge, s. 14-21.
- Cassar, M. 1998. *Cost/benefits Appraisals for Collection Care. A practical guid*, London, Museums & Galleries Commission.
- Charola, A. E. & Koestler, R. J. 2006. Methods in Conservation. I: May, E. & Jones, M. (red.) *Conservation Science. Heritage Materials*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, s. 13-31.
- Chaumat, G., Blanc, L., Albino, C. & Miffon, F. 2009. Development of new consolidation treatments from fatty acid resin solutions. I: Strækvern, K. & Huisman, D. J., red. *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, Amsterdam. Amersfoort: ICOM, s. 291-299.
- Chiari, G. 2010. Portable non-invasive XRD/XRF instrument: a new way of looking at objects. I: Artioli, G. (red.) *Scientific Methods and Cultural Heritage. An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*. Oxford: Oxford University Press, s. 119-122.
- Christensen, B. B. 1970. *The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*, København, The National Museum.
- Cronyn, J. M. 2004. *The Elements of Archaeological Conservation*, London, Routledge.
- Derrick, M. R., Stulik, D. & Landry, J. M. 1999. *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute.
- Egenberg, I. M. 2003. *Tarring maintenance of Norwegian medieval stave churches. Characterisation of pine tar during kiln-production, experimental coating procedures and weathering*. Doctoral Programme in Conservation, Göteborg University.
- Egenberg, I. M. 2006. Kvalitativ og kvantitativ vurdering av tyri til tjæreproduksjon. I: Egenberg, I. M., Skar, B. & Swensen, G. (red.) *Kultur - Minner og Miljøer. Strategiske instituttprogrammer 2001-2005*. Oslo: NIKU, s. 115-129.
- Florian, M.-L. E. 1987. The underwater environment. I: Pearson, C. (red.) *Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths, s. 1-20.
- Florian, M.-L. E. 1990a. The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials. *Identification of Plant and Animal Materials in Artifacts*. The J. Paul Getty Trust, s. 29-82.
- Florian, M.-L. E. 1990b. Plant Anatomy: An Illustrated Aid to Identification. *The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials*. The J. Paul Getty Trust, s. 1-27.
- Florian, M.-L. E. 2002. *Fungal facts. Solving fungal problems in heritage collections*, London, Archetype Publications Ltd.

- Font, J., Salvadó, N., Butí, S. & Enrich, J. 2007. Fourier transform infrared spectroscopy as a suitable technique in the study of the materials used in waterproofing of archaeological amphorae. *Analytica Chimica Acta*, 598, s. 119-127.
- Gjertsen, K. R. 1980. Fra en blokkmakers verksted. *I: Molaug, S., Kolltveit, B. & Dahl, G. B. (red.) Norsk Sjøfartsmuseum. Årsberetning 1979*. Oslo, s. 41-124.
- Glastrup, J. Degradation of PEG - A Review. *I: Hoffmann, P., Grant, T., Spiggs, J. & Daley, T., red. Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, York. 1997: ICOM, s. 377-382.
- Godal, J. B. 2001. *Tre til båtar*, Oslo, Landbruksforlaget.
- Godfrey, I., Kasi, K. & Richards, V. 2002. Iron Removal from Waterlogged Leather and Rope Recovered from Shipwreck Sites. *I: Hoffmann, P., Spriggs, J. A., Grant, T., Cook, C. & Recht, A., red. Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, 11-15 juni Stockholm. ICOM, s. 439-470.
- Godfrey, I. M. & Smith, N. K. 1990. Conservation of degraded rope from marine archaeological sites. *AICCM Bulletin*, Vol. 16, No. 3, s. 93-108.
- Grant, T., Bilz, M. & Cruz, V. d. l. 1997. Conservation of Waterlogged Cedar Basketry and Cordage. *I: Hoffmann, P., Grant, T., Spiggs, J. & Daley, T., red. Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, York. ICOM, s. 127-135.
- Grattan, D. W. 1982. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood. *Studies in Conservation*, Vol. 27, No. 3, s. 124-136.
- Grattan, D. W. 1987. Waterlogged Wood. *I: Pearson, C. (red.) Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths, s. 55-67.
- Grattan, D. W. & Clarke, R. W. 1987. Conservation of waterlogged wood. *I: Pearson, C. (red.) Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths, s. 164-206.
- Grattan, D. W., McCawley, J. C. & Cook, C. 1980. The Potential of the Canadian Winter Climate for the Freeze-Drying of Degraded Waterlogged Wood: Part II. *Studies in Conservation*, Vol. 25, No. 3, s. 118-136.
- Greaves, P. H. & Saville, B. P. 1995. *Microscopy of Textile Fibres*, Oxford, BIOS Scientific Publishers Limited.
- Hansen, C. 1997. *Tau og tauproduksjon*, Vollen, Amfora.
- Hather, J. G. 2000. *The identification of the Northern European Woods. A guide for archaeologists and conservators*, London, Archetype Publications Ltd.
- Hedges, J. I. 1990. The Chemistry of Archaeological Wood. *I: Rowell, R. M. & Barbour, R. J. (red.) Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*. Washington American Chemical Society, s. 111-140.

- Hertzberg, A. 2000. *Basteskogen på Sollesnes. Ei synfaring i gammel lindeskog i Jondal kommune*, Hardanger, Hardanger Fartøyvernssenter.
- Hoadley, R. B. 1998. *Chemical and physical properties of wood*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute.
- Hocker, E., Dal, L. & Hocker, F. 2009. Understanding Vasa's Salt Problem: Documenting the Distribution of Salt Precipitations on the Swedish Warship Vasa. *I: Strætkvern, K. & Huisman, D. J., red. Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, Amsterdam. Amersfoort: ICOM, s. 469-497.
- Horie, V. 2010. *Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Høeg, O. A. 1974. *Planter og tradisjon. Floraen i levende tale og tradisjon i Norge 1925-1973*, Oslo, Universitetsforlaget.
- Jensen, J. K. 1924. *Haandbog i praktisk sømandsskab*, Aalborg, Dansk sejlskibsrederi-forening.
- Jensen, P. & Schnell, U. 2005. The implications of using low molecular weight PEG for impregnation of waterlogged archaeological wood prior to freeze drying. *I: Hoffmann, P., Strætkvern, K., Spriggs, J. A. & Gregory, D., red. Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials*, København. s. 279-310.
- Jenssen, V. 1987. Conservation of wet organic artifacts excluding wood. *I: Pearson, C. (red.) Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths s. 122-163.
- Jones, S. P. P., Slater, N. K. H., Jones, M., Ward, K. & Smith, A. D. 2009. Investigating the processes necessary for satisfactory freeze-drying of waterlogged archaeological wood. *Journal of Archaeological Science*, 36, s. 2177-2183.
- Jørgensen, G. 1989. *Træ. Struktur, nedbrydning og identifikation*, København, Konservatorskolen. Det Kongelige Danske Kunstakademi.
- Kihlberg, B. 1976. *Fra mast til køl: maritim håndbog*, Lademann.
- Kjeldstadli, K. 2005. *Fortida er ikke hva den en gang var. En innføring i historiefaget*, Oslo, Universitetsforlaget AS.
- Knight, B. 1990. A review of the corrosion of iron from terrestrial sites and the problem of post-excavation corrosion. *The Conservator* 14, s. 37-43.
- Kronkright, D. P. 1990. Deterioration of Artifacts Made From Plant Materials. *I: E, M.-L. (red.) The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials*. The J. Paul Getty Trust, s. 139-193.
- Kucera, B. & Næss, R. M. 1999. *Tre. Naturens vakreste råstoff*, Oslo, Landbruksforlaget.

- Kutzke, H., Braovac, S. & Euler, H. The behaviour of alum in alum-conserved wooden objects. *I: Ek, M., red. Shipwrecks 2011. Chemistry and preservation of waterlogged wooden shipwrecks*, Stockholm. s. 132-133.
- Lang, J., Middleton, A., Ambers, J. & Higgins, T. 2005. Radiographic images. *I: Lang, J. & Middleton, A. (red.) Radiography of Cultural Material*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, s. 20-48.
- Mattson, J. 2007. Analyse av muggsopp. *Meddelelser om konservering. Temanummer: Muggsopp, Mögelsvampar, Mug*. IIC Nordic Group, Nordisk Konservatorforbund.
- Mattsson, J. 2004. *Muggsopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring*, Oslo, Mycoteam.
- McConnachie, G. & Jones, M. 2003. Conservation of Waterlogged Archaeological Wood. *I: Jones, M. (red.) For Future Generations. Conservation of a Tudor Maritime Collection*. Portsmouth: The Mary Rose Trust Ltd, s. 50-74.
- McKenna, H. A., Hearle, J. W. S. & O'Hear, N. 2004. *Handbook of fibre rope technology*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute.
- Molaug, S. 1989. Norsk sjøfart på 1600-tallet. *I: Berggreen, B., Christensen, A. E. & Kolltveit, B. (red.) Norsk sjøfart. Bind 1*. Oslo: Dreyer, s. 160-215.
- Molaug, S. 1994. *Vår gamle kystkultur. Bind 1*, Oslo, Grøndahl og Dreyer.
- Molaug, S. & Scheen, R. 1983. *Fregatten "Lossen". Et kulturhistorisk skattekammer*, Oslo, Norsk Sjøfartsmuseum.
- Mondfeld, W. z. 2005. *Historic Ship Models*, New York, Sterling Publishing.
- Nordanger, T. 1977. *Skibmaning med tau. Håndbok for båtfolk når det gjelder. Knuter, knoper og stikk for dagligbruk. Takling og spleis. Blokk og talje - og annen nyttelek med tau.*, Nordanger Forlag.
- Pawson, D. 2004. *Knop og stikk*, N. W Damm & Søn. Teknologisk forlag.
- Peacock, E. E. 1984. Mass reconservation of archaeological leather: a case study. ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, København. s. 84.18.82-85.
- Peacock, E. E. 1992. Drying Archaeological Textiles. *Tidens Tand, Archaeological Textiles in Northern Europe*, Nr. 5, s. 197-207.
- Peacock, E. E. & Schofield, G. 1997. A survey of conservation methods for Trondheim's water-degraded archaeological rope. *I: Hoffmann, P., Grant, T., Spriggs, J. A. & Daley, T., red. Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, 9-13 september York*. ICOM, s. 113-126.

- Pedersen, N. B. 2009. *Examination oof Azelaic Acid as an Impregnation Agent for Waterlogged archaeological Wood*. Master, Konservatorskolen. Det Kongelige Danske Kunstakademi.
- Rodgers, B. A. 2004. *The Archaeologists's Manual for Conservation. A Guide to Non-Toxic, Minimal Intervention Artifact Stabilization*, New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Rowell, R. M. 2005. Moisture Properties. *I: Rowell, R. M. (red.) Handbook of wood chemistry and wood composites*. Florida: CRC Press, s. 77-98.
- Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowell, J. S. & Tshabalala, M. A. 2005. Cell Wall Chemistry. *I: Rowell, R. M. (red.) Handbook of wood chemistry and wood composites*. Florida: CRC Press, s. 35-74.
- Schjølberg, E. 1988. Cordage and Similar Products from Bryggen in Bergen. *The Bryggen Papers. Supplementary Series*, No. 3, s. 69-138.
- Schniewind, A. P. 1990. Physical and Mechanical Properties of Archaeological Wood. *I: Rowell, R. M. & Barbour, R. J. (red.) Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*. Washington DC: American Chemical Society, s. 87-109.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J. C., Pereira, H. & Hinterstoisser, B. 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. *Vibrational Spectroscopy*, 36, s. 23-40.
- Schytz, S. 2007. Forebygging av vekst av muggsopp, Fjerning av muggsoppangrep. *Meddelelser om konservering. Temanummer: Muggsopp, Mögelsvampar, Mug*. IIC Nordic Group, Nordisk Konservatorforbund.
- Selwyn, L. 2004. *Metals and Corrosion. A Handbook for the Conservation Professional*., Canada, Canadian Conservation Institute.
- Shearman, F. & Dove, S. 2005. Applications of radiography in conservation. *I: Middleton, A. & Lang, J. (red.) Radiography of Cultural Material*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, s. 155-174.
- Skard, O. 2002. *Trær. Røtter i kulturhistorien*, Oslo, Landbruksforlaget.
- Smith, C. W. 2003. *Archaeological Conservation Using Polymers. Practical Applications for Organic Artifact Stabilization*., Texas, Texas A&M University Press.
- Smith, R. D. 1999. Reversibility: A questionable philosophy. *I: Oddy, A. & Carroll, S. (red.) Reversibility - does it exist?* London: The British Museum, s. 99-103.
- Sprauten, K. 1992. *Oslo bys historie. Byen ved festningen. Fra 1536-1814. Bind 2*, Oslo, J.W. Cappelens Forlag A.S.
- Stavseth, R. 1948. *Av repslagerens saga. Tønsberg reperbane gjennom 150 år. 1796 - 1946*, Oslo, Johan Grundt Tanum.



- Stuart, B. 2008. *Analytical Techniques in Materilas Conservation*, Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.
- Thomassen, T. 1997. *Træ og Træmaterialer*, TI Træteknik.
- Tímár-Balázs, Á. & Eastop, D. 1998. *Chemical Principles of Textile Conservation*, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Unger, A., Schniewind, A. P. & Unger, W. 2010. *Conservation of Wood Artifacts. A Handbook*, Berlin, Springer.
- Vivies, P. d., Cook, D., Drewsa, M., Gonzaleza, N., Mardikina, P. & Memetc, J.-B. 2007. Transformation of akaganeite in archaeological iron artefacts using subcritical treatment. *I: Degrigny, C., Langh, R. V., Joosten, I. & Ankersmit, B., red. Metal 07. Interim meeting of the ICOM-CC Metal WG, Amsterdam. Rijksmuseum.*
- Wahlbeck, O. 1991. *Rep och replageri under olika tidsåldrar*, Linköping.
- Watson, J. 1997. Freeze-drying highly degraded waterlogged wood. *I: Hoffmann, P., Grant, T., Spriggs, J. A. & Daley, T., red. Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials, York. ICOM, s. 9-21.*
- Wiedenhoeft, A. C. & Miller, R. B. 2005. Structure and Function of Wood. *I: Rowell, R. M. (red.) Handbook of wood chemistry and wood composites*. Florida: CRC Press, s. 9-33.
- Zumdahl, S. S. 1998. *Chemical principles. Third edition*, Boston, Houghton Mifflin Company.

## Upublicerte kilder

- Hobberstad, L. C. 2010. Barcode båt BC 02. NSM 03010082. Askeladden id 118067. Norsk Sjøfartsmuseums arkeologiske undersøkelse i forbindelse med Oslo kommune. NSM sak 2001067. Oslo: Norsk Sjøfartsmuseum.
- Lindblom, I. 2007. *Jungfrur. Introduktion och användningsområde ombord*, Stockholm.
- Michalski, S. & Rossi-Doria, M. 2011. Using decision diagrams to explore, document and teach treatment decisions, with an example of their application to difficult painting consolidation treatment. ICOM-CC Triennial 16th Conference, Lisboa. s. 1-8.
- Tran, K., Boumlil, N., Albino, C., Caillat, L., Pécaut, J., Bardet, M., Gerbaud, G., Pape, L. L. & Kirschner, A. Characterization and conservation of a gun carriage excavated from the 17th-century Stirling Castle shipwreck. ICOM-CC Triennial 16th Conference, Lisboa. s. 1-9.

Undrum, I. 2010. Hvor skal vi ende? Rekonstruksjon av tauverk til Barcode 6. Hardanger: Hardanger Fartøyvernsenter.

## Internettsider

Bjerklund, A. K. *Prinsipp EDXRF (Energidispersiv røntgenfluorescens)* [Online]. Oslo: Holger Teknologi. Tilgjengelig: <http://www.holger.no/assets/pdf/Prinsipp%20EDXRF.pdf> [Lest 8. desember 2011].

FRIL. *Fiber Reference Image Library* [Online]. Ohio: The Ohio State University. Tilgjengelig: <https://fril.osu.edu/index.cfm?fuseaction=site.getThisPage&SitePageID=120&Page=Home&showFeaturedCollections=1> [Lest 9. desember 2011].

Hertzberg, A. *Tauverk - egenskaper og vedlikehold* [Online]. The European Ships Preservation Database. Tilgjengelig: <http://www.ships-preservation.com/db/index.php3?Lang=english&ID=Artikler&ID2=Vis&counter=5> [Lest 6. oktober 2011].

Mellemverftet. *Bestemmelser for Forfærdigelse af Jomfruer* [Online]. Tilgjengelig: <http://mellemverftet.net/publikasjoner/Gaffelrigg/Forferdigelse%20av%20jomfruer.pdf>.

Molaug, S. 1981. *Farestadvraket* [Online]. Oslo: Norsk Sjøfartsmuseum. Tilgjengelig: [http://www.salthaug.com/Farestad/Arbok\\_81.htm](http://www.salthaug.com/Farestad/Arbok_81.htm) [Lest 3. november 2011].

Skaug, E. 2007. *Trevirkets oppbygging og egenskaper* [Online]. Oslo: Treteknisk. Tilgjengelig: [http://www.trefokus.no/Fokus\\_40\\_Z1KKN.pdf.file](http://www.trefokus.no/Fokus_40_Z1KKN.pdf.file) [Lest 19. desember 2011].

Zwilgmeyer, P. G. 2011. *Jomfru* [Online]. Tilgjengelig: <http://www.flyt.no/Leksikon/index.php/Jomfru> [Lest 30. november 2011].

## Personlig kommunikasjon

Braovac, Susan, konservator ved Kulturhistorisk Museum, samtaler og e-poster august-desember 2011.

Egenberg, Inger Marie, Førstekonservator ved Norsk Maritimt Museum, samtaler og e-poster august-desember 2011.

Gjertsen, Karl Ragnar, konservator med Aust-Agder Kulturhistoriske Senter, e-poster september-desember 2011.

Nunez, Maria, Mycoteam, e-poster september 2011.

Peacock, Elizabeth, forsker ved NTNU, e-post 11.10.2011.

Sandvoll, Brynjar, konservator ved Kulturhistorisk Museum, e-post 10.10.2011.

Strætkvern, Kristiane, konservator ved Nasjonalmuseets Bevaringsavdeling i Brede, e-post 24.11.2011.

Undrum, Ingunn, repsluger ved Hardanger Fartøyvernssenter, e-poster og samtaler september-november 2011.

Vike, Vegard, konservator ved Kulturhistorisk Museum, e-post 07.10.2011

# Vedlegg 1 – Reglement

24

## Bestemmelser for Forfærdigelse af Jomfruer.

### A. Runde Jomfruer.

1. Jomfruens Tykkelse gjøres lig dens halve Diameter.
2. Talliereebshullernes Center placeres saaledes:
  - a) Yderhullerne i Tværdiameteren, og Mellemhullerne  $\frac{1}{8}$  Deel af Jomfruens Diameter fra Brystet.
  - b) Paa 3-hullede Jomfruer sættes det midterste Hul i Langdiameteren (der er lodret paa Diameteren gennem Yderhullernes Center), og Yderhullerne saaledes, at deres inderste Omkreds kommer 2 à 3 Linier (efter Jomfruens Størrelse) til Siden af de fra Midthullets Omkreds lodret nedtrukne Linier.
  - c) Paa 4-hullede Jomfruer skal Landet mellem Midthullerne være lig  $\frac{1}{2}$  Deel af Talliereebshullets Diameter, og Yderhullerne placeres saaledes, at deres inderste Omkreds netop kommer til at tangere de fra Midthullernes Ydersider lodret nedtrukne Linier.

### B. Kjebede Jomfruer.

1. Jomfruens Tykkelse lig den halve Tværdiameter.
2. Længden skal være  $\frac{3}{4}$  Dele af Tværdiameteren.
3. Talliereebshullernes Center placeres saaledes:
  - a) Yderhullerne  $\frac{1}{8}$  Deel, og Mellemhullerne  $\frac{1}{2}$  Delen af Tværdiameteren nedsat fra Brystet.
  - b) Hullernes Afstand tværs for hinanden bliver den samme, som for runde Jomfruer under b og c er anført.
4. Paa Brystsiden gjøres Kjeber, saaledes at Landet mellem samme bliver lig  $\frac{1}{2}$  Deel, og Landet paa Siderne lig  $\frac{1}{4}$  Deel af Talliereebshullets Diameter.
5. Duxhoveder forfærdiges efter ovenanførte Bestemmelser, forsaavidt de herpes kunne være anvendelige.

Hullets Center sættes  $\frac{1}{2}$  à  $\frac{1}{4}$  Deel af Tværdiameteren fra Brystet.
6. Jomfruer eller Duxhoveder, som skulle indbindes i Fokkestagstroppe, gives 1 Sidehul, eller 1 Side- og 1 Nakkehul for de meget store Dimensioner, paa hver Side.

Disse Huller gjøres lange omtrent  $\frac{1}{2}$  Deel af Jomfruens Tværdiameter, og Bredden er  $\frac{1}{2}$  à  $\frac{3}{4}$  af sammes Længde.

### C. Fælleds Bestemmelser.

1. Talliereebshullernes Diameter gjøres lig Dammens Vidde for Blokværk.
2. Skjølpen for Stroppeu gjøres bred 1 Gang Tougets Diameter, og dyb  $\frac{1}{2}$  Deel af Bredden. Skjølpen for Jomfruer, der skal beslaaes, gjøres dyb omtrent  $\frac{1}{2}$  Deel af tilsvarende Jern-diameter, da det Resterende indbrændes under Beslagningen.
3. Alle Jomfruer mærkes med de 2de Characterer for Diameter og Talliereeb paa den ene Side, samt for Skjølpen paa den anden Side.

## Vedlegg 2 – Kapittel 4 Konstruksjon og tilvikning



Figur 29. Vertikal fiberretning – øvre jomfru.



Figur 30. Detalj av hull - øvre jomfru.



Figur 31. Detalj av rett hake – øvre jomfru.



Figur 32. Detalj av taljerepsknopen – øvre jomfru bakside.



Figur 33. Baststrimler.



Figur 34. Baststrimlene tvinnes til en kordel.





Figur 35. Detalj av kordel.



Figur 36. To kordeler tvinnes sammen.



Figur 37. Tredje kordelen tvinnes mellom, og resultatet er et treslått Z-tau.



Figur 38. Detalj av tauet øvre jomfru – venstre side.

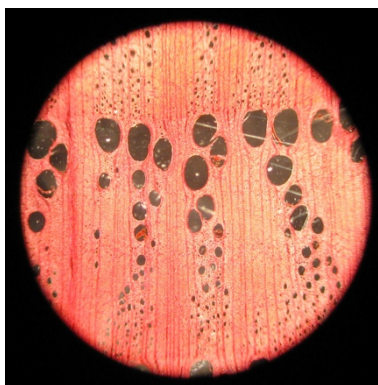


Figur 39. Detalj av Z-slått tauet rundt øvre jomfru - høyre side.

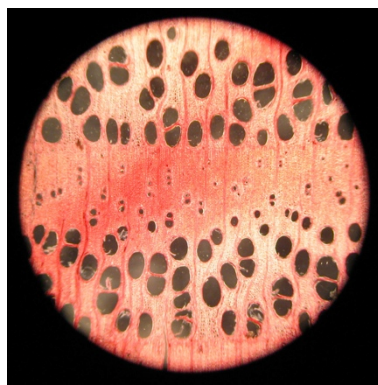
## Vedlegg 3 – Kapittel 5 Originale materialer



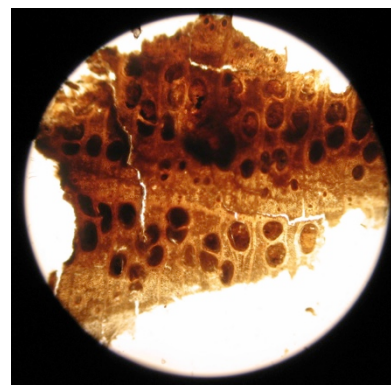
Figur 40. Prøveuttak for treidentifikasjon. Tverrsnitt fra den rette haken.



Figur 41. Referanse: Eik, 100 x forstørrelse.



Figur 42. Referanse: Ask, 100 x forstørrelse.



Figur 43. Tverrsnitt av øvre jomfru, 100 x forstørrelse.



Figur 44. Prøveuttak fra tauene som forbinder jomfruene til fiberidentifikasjon – rød pil.

Prøveuttak fra treverket til SEM-EDS analyse – blå piler.

Prøve 1

Prøve 2

Prøve 3

Prøve 4





Figur 45. Område for fiberuttak på taukveil.



Figur 46. Prøveuttak fiber – rød pil og området for XRF målinger av korrosjon – grønne piler.





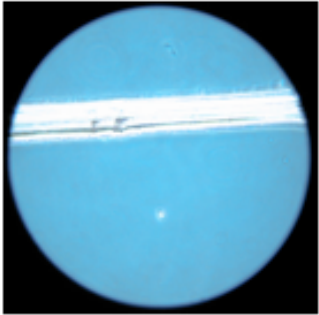
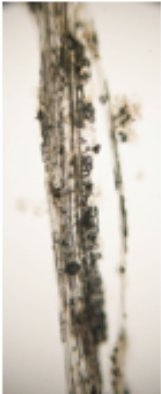
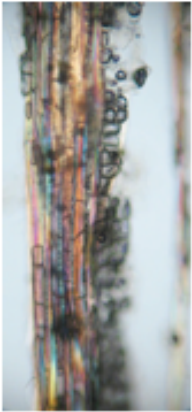
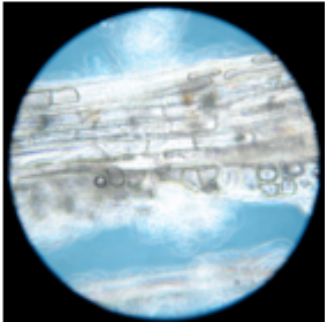


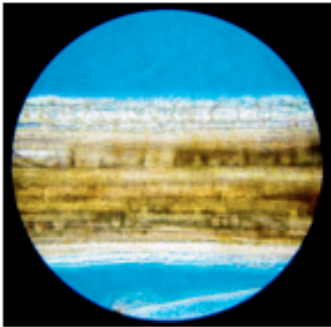
Figur 47. Område for XRF målinger av korrosjon – grønne piler.


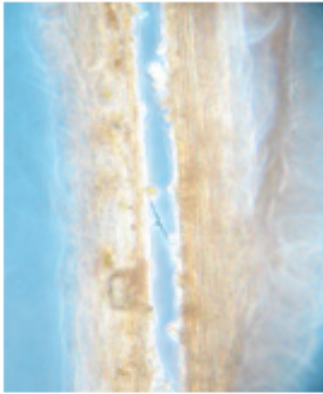
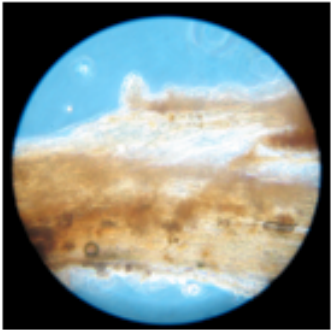


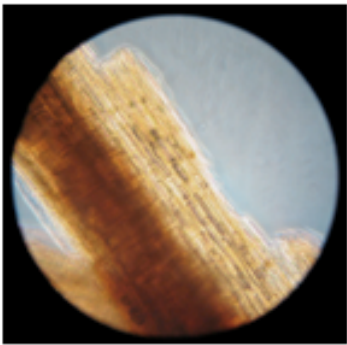


Figur 48. Område for XRF måling av avdekket metall – grønne piler.

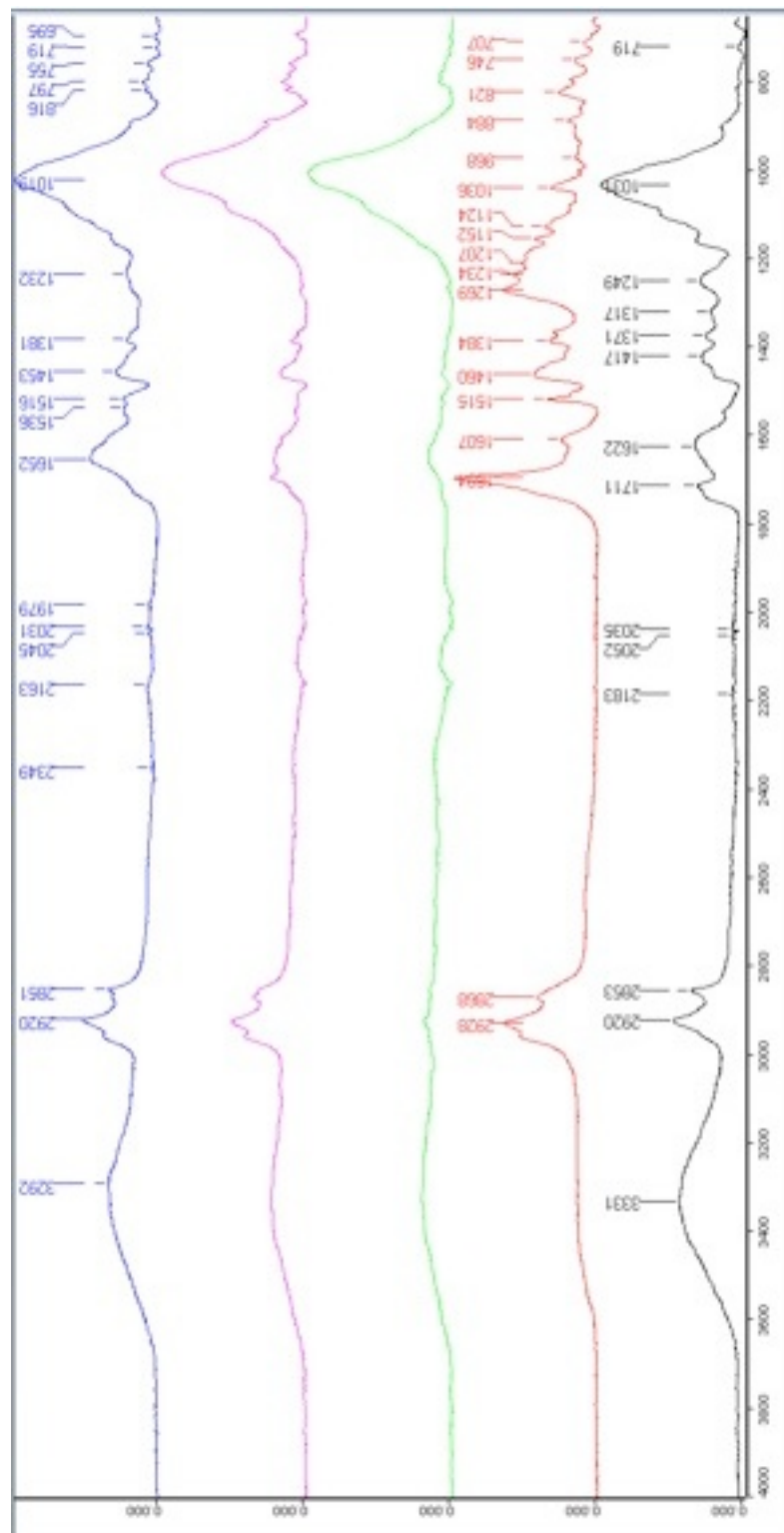


Tabell 5. Mikroskopbilder av referansefiber og fiber fra jomfruene.

	Transmittert 100 x	Krysspolarisering 100 x	Fasekontrast 400 x
<b>Referanse: Hamp</b>			
<b>Referanse: Lindebast</b>			
<b>Tau fra hulkile</b>			

	Transmittert 100 x	Krysspolarisering 100 x	Fasekontrast 400 x
<b>Tau som forbinder jomfruene</b>			
<b>Taukveile</b>			

Graf 1. FTIR av tyritjære, lindebast og fiberprøver fra tauverket.



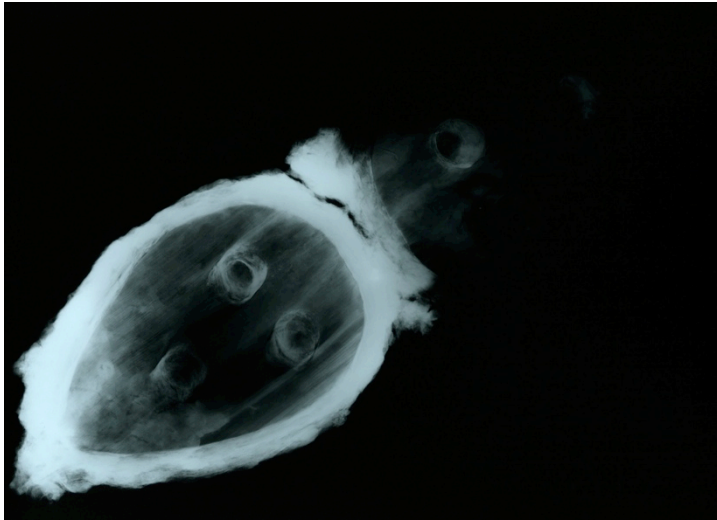
Taukveil

Tau forbinder

Tau hulkile

Referanse: Tyritjære fra  
Dovre

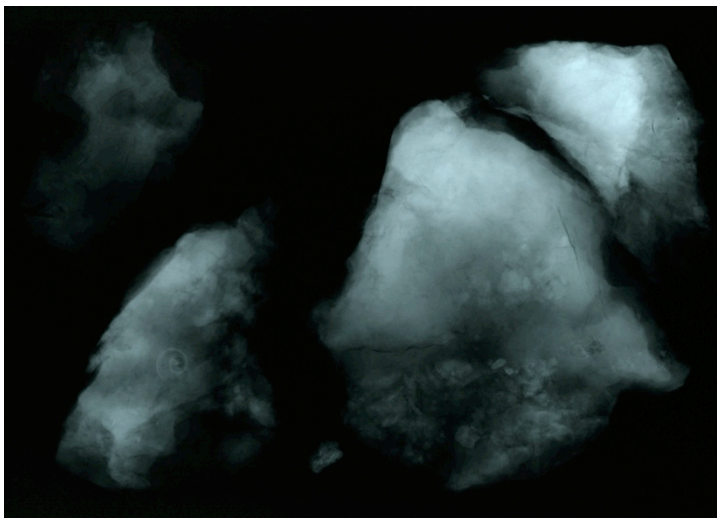
Referanse: Lindebast



Figur 49. Röntgenbilde av jomfruene.  
65 kV, 5 mA, 1 minutt.

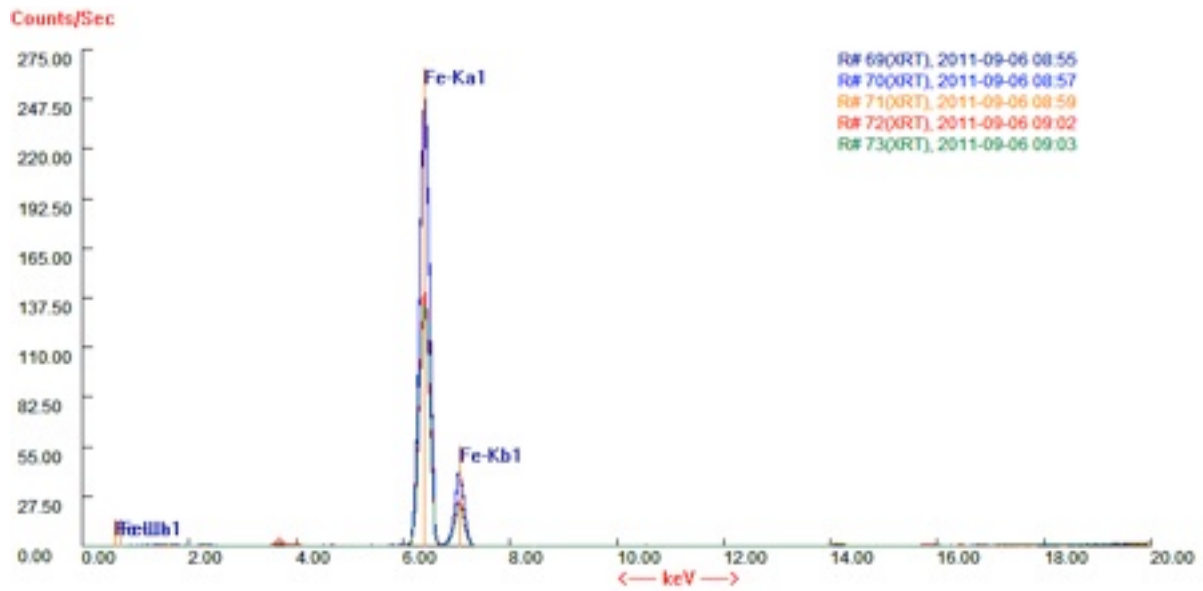


Figur 50. Röntgenbilde av  
jomfruene. 45 kV, 5 mA, 1 minutt.

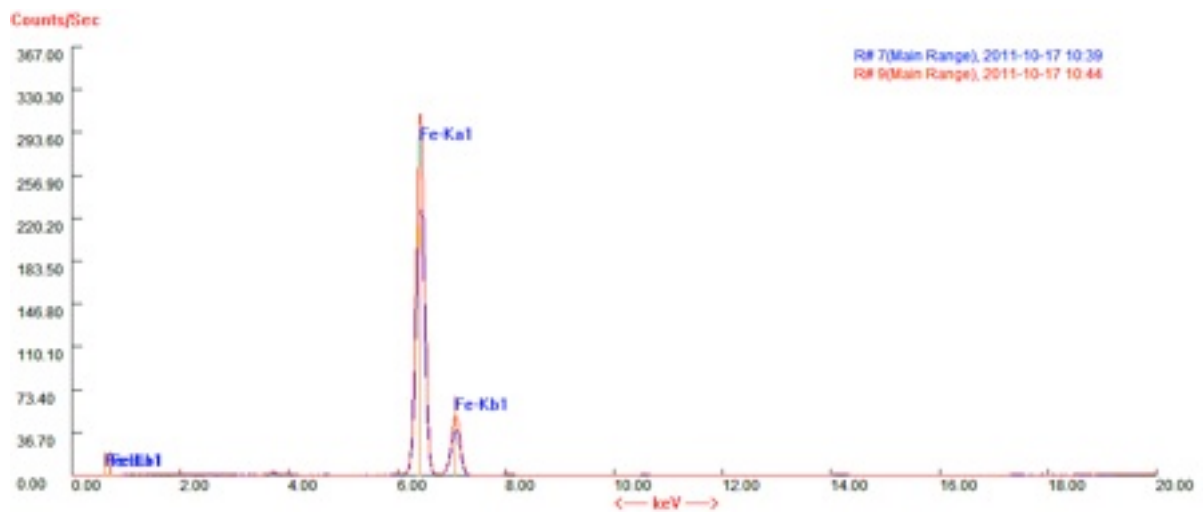


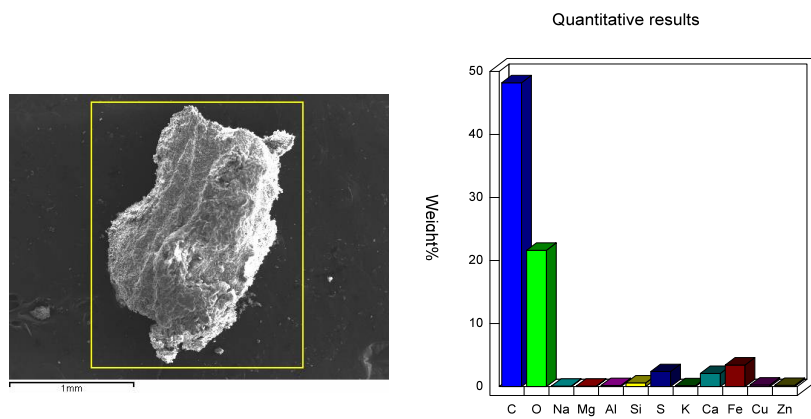
Figur 51. Röntgenbilde av leiren. 80  
kV, 5 mA, 1 minutt.

Graf 2. Samlet XRF resultat av korrosjonen.

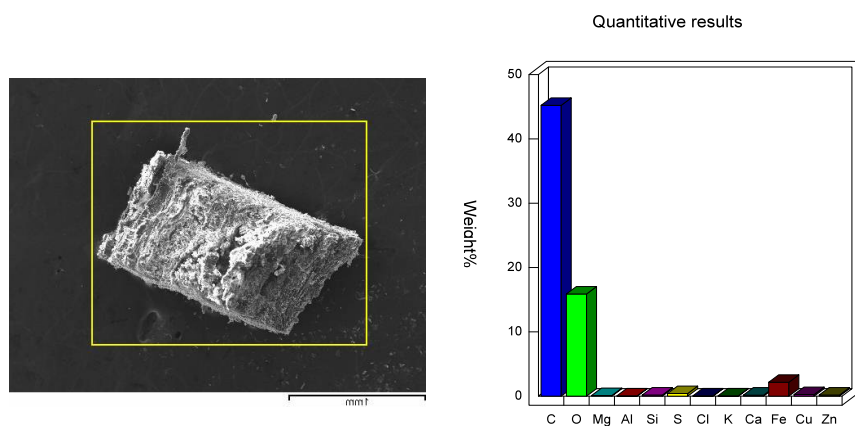
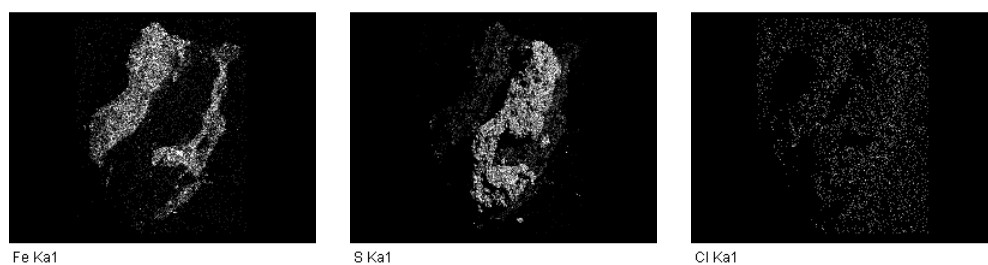


Graf 3. Samlet XRF resultat av det avdekkede metallet.

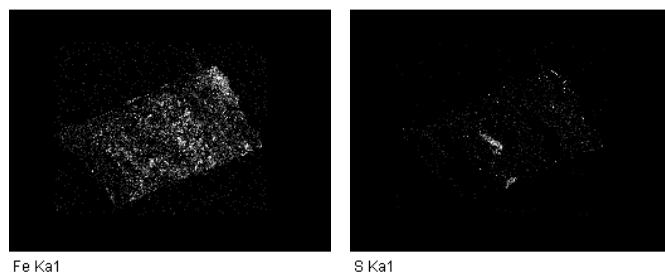




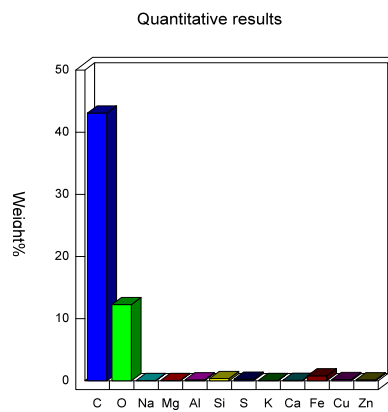
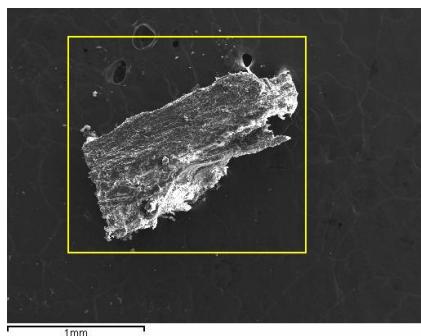
Figur 52. SEM-EDS av prøve 1.



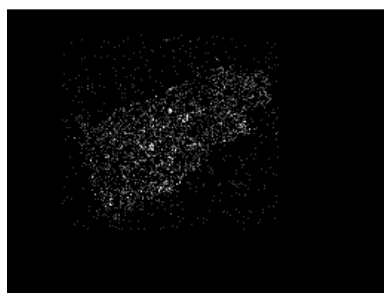
Figur 53. SEM-EDS av prøve 2.



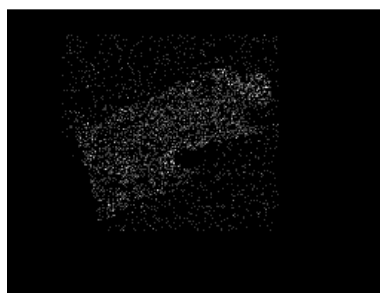




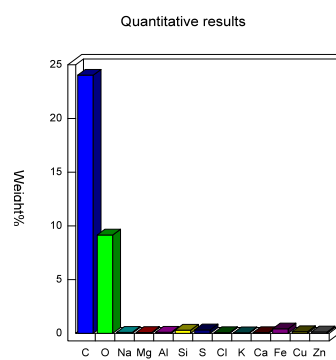
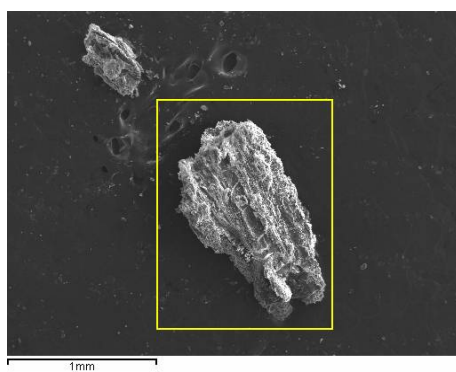
Figur 54. SEM-EDS av prøve 3.



Fe Ka1



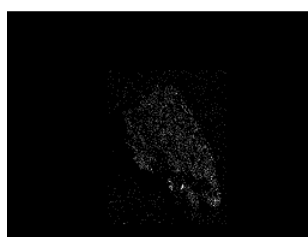
S Ka1



Figur 55. SEM-EDS av prøve 4.



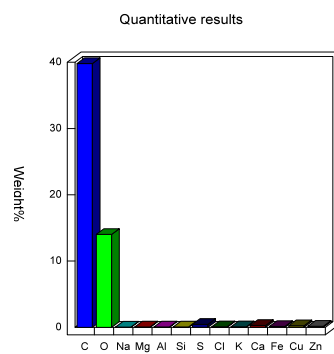
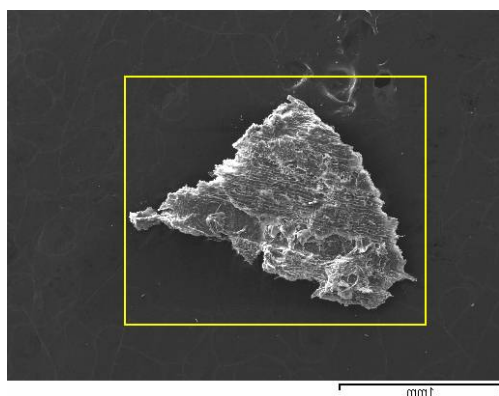
Fe Ka1



S Ka1



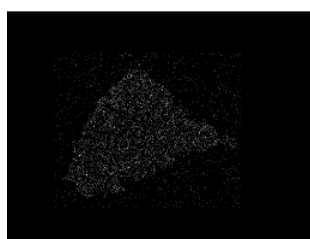
Cl Ka1



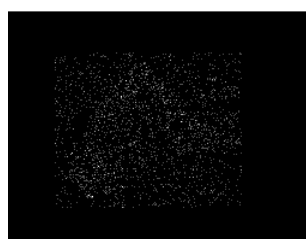
Figur 56. SEM-EDS av kontrollprøve.



Fe Ka1



S Ka1



Cl Ka1



## Vedlegg 4 – Kapittel 6 Generelle nedbrytningsprosesser og tilstand



Figur 57. Jomfruene før konserveringsbehandling. Tydelig muggforekomster på leiren, jomfruene og taukveilen. Blå pil: Muggprøve.



Figur 58. Korrosjon i hulkilen



Figur 59. Gul korrosjon i hulkilen.



Figur 60. Korrosjon har impregnert tauet mellom jomfruene.



Figur 61. Kordelene har løsnet fra hverandre og tauet ligger løst i hulkilen.

## Vedlegg 5 – Rapport fra Mycoteam

Mycoteam as  
Vår saksbehandler: Maria Nunez  
Telefon dir.: 464 23 235  
E-post: mnu@mycoteam.no



Universitetet i Oslo, IAKH  
v/ Mai-Britt Andersen  
Frederiks gate 3  
0164 OSLO

Dato: 19. september 2011

Vår ref: 201109032

Deres ref:

### Prøve av arkeologisk tauverk - analyserapport

Vi har mottatt en prøve for analyse. Prøven er mikroskopert for å vurdere eventuell soppvekst med tanke på optimale fukt- og temperaturforhold. Vi har fått opplyst at prøven er tatt fra tauverk som har ligget i leire i 400 år og har ligget under kalde og delvis fuktige forhold siden 2009.

### Resultat

Analyseresultatet er fremstilt i tabell 1.

Tabell 1, Prøvesett ID: 4005, Dato: 05.09.2011, Prosjekt: UiO - arkeologisk gjenstand (201109032)

Prøvenr	Prøvested	Prøvemateriale	Resultater
19937:26890	Vanntrukket tau med mugg på overflaten	Tauverk	Svertesopp ( <i>Phialophora olivacea</i> )
			Svertesopp ( <i>Exophiala</i> sp.)

**Svertesopp** er en samlebetegnelse for en gruppe mikrosopp med mørkfargede hyfer som gir en misfarging av angrepet trevirke og malte overflater. Soppene finner næring på overflaten av eller i malingsfilmen, i støv eller liknende. Det gjøres spesielt oppmerksom på at en del av det man tradisjonelt betegner som muggsopp også er svartfarget. Betegnelsen svertesopp refererer derfor i hovedsak til en kombinasjon av voksested og type muggsoppslekt. Muggsopp innen slektene hussvertemuggsopper (*Aureobasidium*), *Ceratocytis*, kondensmuggsopper (*Cladosporium*), tvillingsvertemuggsopper (*Hormonema*) og kragemuggsopper (*Phialophora*) er eksempler på ulike svertesopp. Se vedlagte faktablad for nærmere beskrivelse av soppgruppen.

**Phialophora** vokser i tempererte strøk på tre, planteavfall, jord, vann, dyr avføring, luft, og et utvalg av råtnende mat. Soppen krever høy fuktkvote for å vokse, og er ofte funnet på svært vått treverk. Noen arter er plantepatogener og kan forårsake gråråte på tre og blåved. Soppen trives ved temperatur rundt 20-25 °C, men kan vokse ved lavere temperaturer.

**Exophiala** er en vanlig soppgruppe som vokser i jord, vann, på planter og råtnende treverk. Soppen karakteriseres av et gjærstadium som ofte danner lange kjeder, og et mycelstadium som bærer smale, avlange konidiedannende celler. Kulturen er gjær-aktig, fuktig, og brunaktig eller svart i fargen. Vi har ikke data om optimale fukt- og temperaturforhold, men mange arter i slekten kan vokse ved 37 °C som gjærstadium.

Hvis det er spørsmål vedrørende rapporten, eller ønske om ytterligere bistand, vennligst ta kontakt med oss.

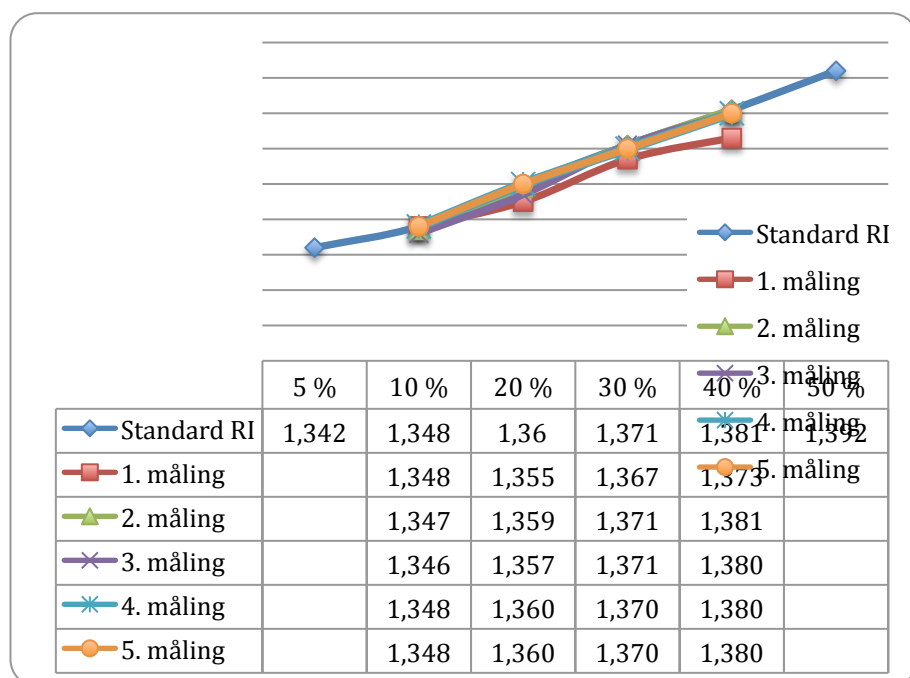
Med vennlig hilsen  
Mycoteam as

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Maria Nunez', with a stylized flourish at the end.

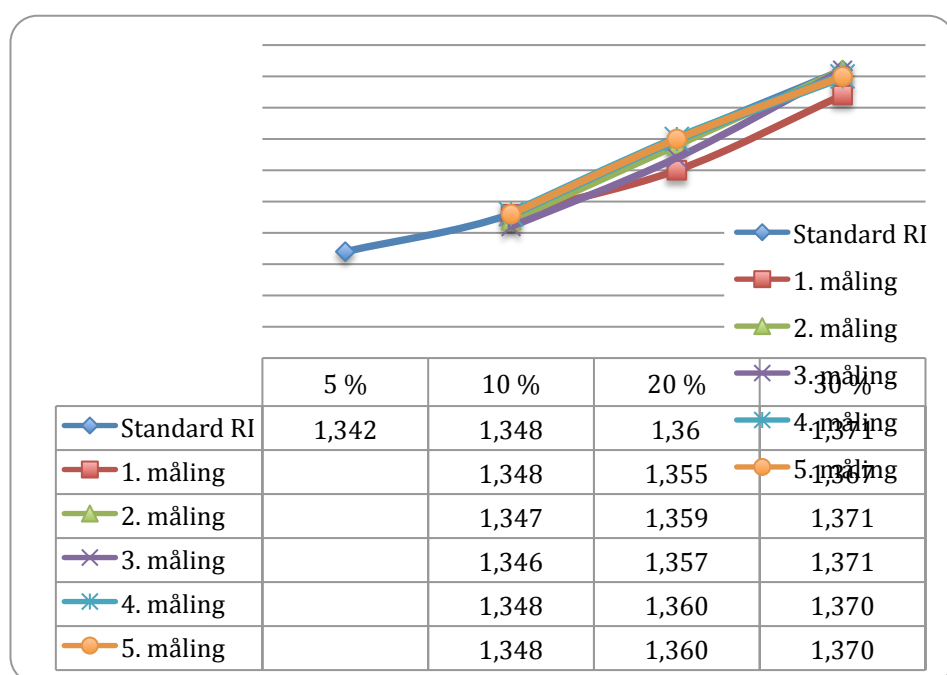
Maria Nunez  
Seniorrådgiver

## Vedlegg 6 – Kapittel 8 - Praktisk forsøk med sorbitol

Graf 4. Brytningsindeks sorbitol løsning.



Graf 5. Brytningsindeks PEG 400 løsning.



Tabell 6. Farge før og etter behandling.

Prøvenr.	Før behandling 10 YR	Etter behandling 2,5 Y
<b>Tau 1</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	7/6;6/6 gul;oliven gul
<b>Tau 2</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	5/4;5/6 olivenbrun;lys olivenbrun
<b>Tau 3</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	5/4;5/6 olivenbrun;lys olivenbrun
<b>Tau 4</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	4/3;4/4 olivenbrun
<b>Tau 5</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	2,5/1;3/3 sort;mørk olivenbrun
<b>Tau 6</b>	4/4;4/6 mørk gulbrun	2,5/1 sort
<b>Tre 1</b>	2/1 sort	4/2 mørk gråbrun
<b>Tre 2</b>	2/1 sort	4/2 mørk gråbrun
<b>Tre 3</b>	2/1 sort	4/2;4/3;3/3 mørk gråbrun;olivenbrun;olivenbrun
<b>Tre 4</b>	2/1 sort	3/2;3/3 veldig mørk gråbrun;mørk olivenbrun
<b>Tre 5</b>	2/1 sort	3/3;2,5/1 mørk olivenbrun;sort
<b>Tre 6</b>	2/1 sort	3/3;2,5/1 mørk olivenbrun;sort

Tabell 7. Mål og vekt av tauprøvene før og etter behandling.

Tauprøve	1	2	3	4	5	6
<b>Våt vekt</b>	95,47 g	84,70 g	30,98 g	58,27 g	109,73 g	49,27 g
<b>Våt lengde</b>	17,88 cm	14,72 cm	11,71 cm	14,43 cm	23,50 cm	8,91 cm
<b>Våt diameter</b>	3,57 cm	4,25 cm	3,70 cm	3,57 cm	3,22 cm	3,54 cm
<b>Tørr vekt</b>	33,66 g	32,11 g	16,20 g	31,52 g	45,93 g	27,73 g
<b>Tørr lengde</b>	16,80 cm	14,47 cm	11,20 cm	13,11 cm	23,00 cm	8,55 cm
<b>Tørr diameter</b>	3,53 cm	3,75 cm	3,07 cm	3,35 cm	2,94 cm	3,24 cm
<b>Endring vekt</b>	- 61,81 g	- 52,59 g	- 14,78 g	- 26,75 g	- 63,80 g	- 21,54 g
<b>Endring lengde</b>	- 1,08 cm	- 0,25 cm	- 0,51 cm	- 1,32 cm	- 0,5 cm	-0,36 cm
<b>Endring diameter</b>	- 0,04 cm	- 0,50 cm	- 0,63 cm	- 0,02 cm	- 0,28 cm	- 0,30 cm
<b>% endring vekt</b>	- 64,74 %	- 62,08 %	- 47,70 %	- 45,90 %	- 58,14 %	- 43,72 %
<b>% endring lengde</b>	- 6,04 %	- 1,69 %	- 4,35 %	- 9,14 %	- 2,12 %	- 4,04 %
<b>% endring diameter</b>	-1,12 %	- 11,76 %	- 17,02 %	- 6,16 %	- 8,69 %	- 8,47 %

Tabell 8. Mål og vekt av treprøvene før og etter behandling.

Treprøve	1	2	3	4	5	6
Våt vekt	162,97 g	192,05 g	173,07 g	160,76 g	194,29 g	183,20 g
Våt lengde	9,23 cm	10,18 cm	8,99 cm	9,78 cm	9,61 cm	8,66 cm
Våt bredde	5,59 cm	5,54 cm	5,60 cm	5,14 cm	6,45 cm	6,14 cm
Våt dybde	3,20 cm	3,14 cm	3,62 cm	3,59 cm	3,42 cm	3,12 cm
Tørr vekt	71,87 g	115,45 g	116,52 g	107,32 g	127,66 g	125,87 g
Tørr lengde	9,15 cm	10,17 cm	8,98 cm	9,76 cm	9,57 cm	8,61 m
Tørr bredde	5,58 cm	5,51 cm	5,58 cm	5,13 cm	6,32 cm	6,03 cm
Tørr dybde	3,12 cm	3,12 cm	3,61 cm	3,57 cm	3,37 cm	3,09 cm
Vekt endring	- 91,1 g	- 76,6 g	- 56,55 g	- 53,44 g	- 66,63 g	- 57,33 g
Endring lengde	- 0,08 cm	- 0,01 cm	- 0,01 cm	- 0,02 cm	- 0,04 cm	- 0,05 cm
Endring bredde	- 0,01 cm	- 0,03 cm	- 0,02 cm	- 0,01 cm	- 0 13 cm	- 0,11 cm
Endring dybde	- 0,08 cm	- 0,02 cm	- 0,01 cm	- 0,02 cm	- 0,05 cm	- 0,03 m
% endring vekt	-55,89 %	- 39,88 %	- 32,67 %	- 33,24 %	-34, 29 %	- 31,29 %
% endring lengde	- 0,86 %	- 0,09 %	- 0,11 %	- 0,20 %	- 0,41 %	- 0,57 %
% endring bredde	- 0,17 %	- 0,54 %	- 0,35 %	- 0,19 %	- 2,01 %	- 1,79 %
% endring dybde	- 2,50 %	- 0,63 %	- 0,27 %	- 0,55 %	- 1,46 %	- 0,96 %
% endring volum	- 3,51 %	- 1,27 %	- 0,74 %	- 0,95 %	- 3,84 %	- 3,29 %



Figur 62. Tauprøvene før behandling.

- 1: 10 % sorbitol
- 2: 20 % sorbitol
- 3: 30 % sorbitol
- 4: 40 % sorbitol
- 5: 20 % PEG 400
- 6: 30 % PEG 400





Figur 63. Tauprøvene etter behandling.

- 1: 10 % sorbitol
- 2: 20 % sorbitol
- 3: 30 % sorbitol
- 4: 40 % sorbitol
- 5: 20 % PEG 400
- 6: 30 % PEG 400



Figur 64. Prøve 1 før behandling med 10 % sorbitol.



Figur. 65. Prøve 2 før behandling med 20 % sorbitol.



Figur 66. Prøve 3 før behandling med 30 % sorbitol.



Figur 67. Prøve 4 før behandling med 40 % sorbitol.



Figur 68. Prøve 5 før behandling med 20 % PEG 400.



Figur 69. Prøve 6 før behandling med 30 % PEG 400.



Figur 70. Prøve 1 etter  
behandling med 10 %  
sorbitol.



Figur 71. Prøve 2 etter  
behandling med 20 %  
sorbitol.



Figur 72. Prøve 3 etter  
behandling med 30 %  
sorbitol.



Figur 73. Prøve 4 etter  
behandling med 40 % sorbitol.



Figur 74. Prøve 5 etter  
behandling med 20 % PEG  
400.



Figur 75. Prøve 6 etter  
behandling med 30 % PEG  
400.



## Vedlegg 7 – Kapittel 9 Behandling – forslag og praktisk utførelse



Figur 76. Renseprosessen av jomfruene.



Figur 77. Rensing av korrosjonen.



Figur 78. Detalj av hake etter korrosjonen er fjernet.



Figur 79. Perforert plast sveiset rundt jomfruene.



Figur 80. Perforert plast sveiset rundt taukveilen.



Figur 81. Støtte til tauverket i hulkilen - før frysetørrking.



Figur 82. Detalj av støtte til tauverket i hulkilen.

## **Vedlegg 8 – Benyttede produkter og tidsforbruk**

### **Benyttede materialer**

Parteck SI 400 Sorbitol

Merck Polyetylen glykol 400

### **Tidsforbruk**

Behandling                      70 timer

Prøvetaking og analyser      60-70 timer

I tillegg kommer litteratursøk, samtaler med fagpersoner og tolkning av analysene.